

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

**ESTUDIO DE LAS EMISIONES VEHICULARES EN EL DISTRITO
METROPOLITANO DE QUITO**

**DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN QUE
INFLUENCIAN EN EL DESEMPEÑO AMBIENTAL DE LOS DISTIN-
TOS TIPOS DE VEHÍCULOS EN QUITO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUI-
SITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO/A AMBIENTAL**

KATHERINE DAYANNA RAMIREZ TELLO

DIRECTOR: CARLOS PAEZ PEREZ

DMQ, Septiembre 2022

CERTIFICACIONES

Yo, KATHERINE DAYANNA RAMIREZ TELLO declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

KATHERINE RAMIREZ

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por KATHERINE DAYANNA RAMIREZ TELLO, bajo mi supervisión.

CARLOS PAEZ
DIRECTOR

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.

NOMBRE_REVISOR1
REVISOR1 DEL TRABAJO DE INTE-
GRACIÓN CURRICULAR

NOMBRE_REVISOR2
REVISOR2 DEL TRABAJO DE INTE-
GRACIÓN CURRICULAR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

KATHERINE RAMIREZ

CARLOS PAEZ

NOMBRE_COLABORADOR(ES)

DEDICATORIA

A mis padres, quienes con su arduo esfuerzo y constante trabajo han hecho lo posible por brindarme esta herramienta tan importante, por impulsarme a seguir aún en los momentos más difíciles, por creer en mis capacidades y motivarme a llegar más lejos.

A mi hermana menor, quien ha sido fuente de motivación y a la vez una compañía constante durante toda mi carrera universitaria, siempre brindándome su apoyo e impulsándome a seguir adelante con entusiasmo y alegría.

A mi abuelito, quien se ha encontrado en la mayor parte de mi vida como un segundo padre, siempre motivándome a aprender cosas nuevas y a generar habilidades nuevas que me hacen crecer como persona.

A mis profesores en general, quienes han construido todos los conocimientos necesarios para poder cumplir esta meta tan anhelada.

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la salud, la vida y la maravillosa oportunidad de culminar una carrera universitaria, fortaleciéndome frente a cada reto y dificultad presentada durante esta etapa.

A mis padres por ser los principales impulsores de esta decisión, siempre bajo su intención de construir una vida mejor. Gracias por ser mi apoyo incondicional, por acompañarme en cada etapa de mi vida y por compartir mis logros y fracasos como si fuéramos uno solo. A mi madre por su guía, por siempre aconsejarme y forjarme con los principios que hoy en día me hacen la persona que soy. A mi padre por su cariño, por su constante preocupación y por el esfuerzo que ha destinado en poder brindarme mis estudios. Este trabajo, así como toda mi carrera universitaria se la debo a ustedes, llegar a este punto hubiese sido imposible sin su apoyo y su cariño, los quiero mucho.

A mi pequeña hermana, a quien no puedo dejar de verla con ojos de madre, eres mi gran motivación. A pesar de las diferencias, nunca me ha faltado tu apoyo y cariño. Espero en tu vida, verte alcanzar más logros de los que yo me propongo y que sepas que estaré ahí siempre para apoyarte.

A mi abuelito Manuel por compartir una parte importante de mi vida: mi niñez. Su carisma y su tenacidad me han inspirado desde siempre, solo me queda agradecerle por estar siempre pendiente de mi y de mis necesidades. A mi abuelita Alicia, quien me acompaña en las últimas etapas de esta meta, gracias por confiar en mí y apoyarme en mis decisiones.

A la Escuela Politécnica Nacional, por todos los conocimientos otorgados a lo largo de la carrera que me forjan como una profesional de ética y de buenos valores. Al Coro Mixto Politécnico, que fue mi principal escape de la realidad a través de la música.

A mis amigos y compañeros de la universidad, quienes han hecho de esta experiencia algo único. A Abigail, Belén, Nicole, Sarita, Sofía y Cristian, pero sobretodo a Emily Lara; tu lealtad y sinceridad han construido esta bella amistad que procuro conservar por el resto de mi vida, te agradezco por estar conmigo siempre en los momentos más difíciles y por brindarme tu apoyo incondicional.

A mis profesores, en especial a Verónica Minaya, Xavier Zapata, Lenin Campozano, Cristina Torres, María Belén Aldás; quienes a través de su enseñanza han reforzado en mí el deseo de continuar estudiando esta maravillosa carrera. Finalmente, al ingeniero Carlos Páez por su guía en la elaboración de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT.....	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo general	3
1.2 Objetivos específicos	3
1.3 Alcance	3
1.4 Marco teórico	4
1.4.1 Contaminación del aire	4
1.4.2 Fuentes móviles de contaminación del aire	7
1.4.3 Inventarios de Emisiones vehiculares	8
1.4.4 Actividad Vehicular	11
1.4.5 Estado del Arte	18
2 METODOLOGÍA.....	21
2.1 Selección de variables espaciales y temporales	22
2.2 Determinación del índice KRV	26
2.2.1 Recopilación de la información	28
2.2.2 Procesamiento de datos	29
2.2.3 Determinación de las condiciones de operación	31
2.2.4 Determinación de rutas típicas	34
3 RESULTADOS	38
3.1 Análisis del kilometraje recorrido por vehículo (KRV). ¡Error! Marcador no definido. 38	
3.2 Caracterización vehicular	43
3.3 Tipo de combustible	53
3.4 Rutas típicas	55
4 CONCLUSIONES.....	69

4.1	Recomendaciones.....	68
5	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	69
6	ANEXOS.....	74
	ANEXO I.....	74
	ANEXO II.....	81

RESUMEN

El presente estudio es una contribución a la comprensión de las emisiones vehiculares, principal causa de contaminación del aire en el Distrito Metropolitano de Quito y el análisis de la actividad para los distintos tipos de vehículos, a través del cálculo del kilometraje recorrido y la determinación de otros factores que inciden directamente en sus emisiones, como la topografía, el tipo de combustible empleado y el tráfico vehicular. El estudio considera como período base al año 2019, etapa anterior a la condición especial presentada por la pandemia del COVID-19, de tal manera de representar la habitualidad en temas de movilidad. La realización de encuestas, la creación de mapas de tráfico y rutas de transporte público, el planteamiento de rutas típicas, el análisis de las condiciones de tráfico y el tratamiento de los datos registrados en la Revisión Técnica Vehicular, son algunas de las metodologías empleadas para conseguir determinar el nivel de actividad y las condiciones de operación a las que trabajan los vehículos en la zona de estudio, así como la determinación del tipo de vehículo que genera mayor contaminación al aire por la cantidad de actividad registrada y el número de vehículos existentes hasta el 2019. La interpretación de resultados se concentra en el objetivo de determinar el índice de kilómetros recorridos por vehículo, lo cual, junto con los otros componentes de este proyecto: el estudio de la evolución del número de vehículos y la determinación de los factores de emisión por tipo de vehículo, son fundamentales para el cálculo de emisiones vehiculares del DMQ, destinados a mejorar la información referente a la calidad del aire y dar a conocer la gravedad de problemática, a fin de motivar la adopción de políticas públicas que protejan la salud de los ciudadanos frente al riesgo de exposición a la contaminación.

PALABRAS CLAVE: contaminación, vehículos, actividad, kilometraje, movilidad, transporte, emisiones, aire.

ABSTRACT

This study is a contribution to understanding vehicle emissions, the main cause of air pollution in the Metropolitan District of Quito and the analysis of the activity for the different types of vehicles, through the calculation of the mileage traveled and the determination of other factors that directly affect its emissions, such as topography, the type of fuel used and vehicular traffic. The study considers 2019 as the base period, a stage prior to the special condition presented by the COVID-19 pandemic, in such a way as to represent the usual mobility issues. Conducting surveys, creating traffic maps and public transport routes, planning typical routes, analyzing traffic conditions and processing the data recorded in the Vehicle Technical Review are some of the methodologies used to be able to determine the level of activity and the operating conditions at which the vehicles work in the study area, as well as the determination of the type of vehicle that generates the greatest air pollution due to the amount of activity registered and the number of existing vehicles up to in 2019. The interpretation of results focuses on the objective of determining the index of kilometers traveled per vehicle, which, together with the other components of this project: the study of the evolution of the number of vehicles and the determination of the emission factors by type of vehicle, are fundamental for the calculation of vehicular emissions of the DMQ, aimed at improving the report reference to air quality and publicize the seriousness of the problem, in order to motivate the adoption of public policies that protect the health of citizens against the risk of exposure to pollution.

KEYWORDS: pollution, vehicles, activity, mileage, mobility, transport, emissions, air.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

La contaminación del aire es un problema global que provoca afectaciones a la salud humana. La Organización Mundial de la Salud (OMS), estima que el 91 % de la población mundial se encuentra expuesta a niveles de contaminación atmosféricos mayores a los recomendados, lo que provoca la muerte de más de 7 millones de personas cada año alrededor del mundo (WHO, 2022). La contaminación del aire existe tanto en espacios abiertos como cerrados, exponiendo a las personas a la inhalación involuntaria de gases y partículas contaminantes que ingresan al organismo y provocan una serie de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

A nivel global, la industria, la generación de energía, la agricultura y el transporte son las principales causas de contaminación del aire (Unicef Ecuador, 2020). En las grandes ciudades, la contaminación del aire proviene principalmente del tránsito vehicular, ya sea como consecuencia del desmedido crecimiento del parque automotor, la falta de mantenimiento e incorrecto uso tecnológico del servicio de transporte, la inadecuada planificación territorial y/o la mala calidad de los combustibles empleados. El tráfico de las ciudades y la calidad del aire se encuentran ligados entre sí (Romero, 2006). El problema de las emisiones contaminantes por parte de los vehículos no se resuelve de forma inmediata, sobretodo en ciudades donde la gestión ambiental de la calidad del aire presenta grandes falencias administrativas.

El Artículo 14 de la Constitución del Ecuador declara el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado (Constitución de la República del Ecuador, 2008); el establecimiento de políticas de control frente a los niveles de contaminación es una forma de garantizar este derecho. La Autoridad Ambiental Nacional correspondiente al “Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica”, en conjunto con las Autoridades Ambientales Competentes como los Gobiernos Autónomos Descentralizados mantienen la responsabilidad de garantizar un aire libre de contaminación y salvaguardar la salud de la población a través del constante monitoreo de la calidad de los recursos en conformidad con la normativa vigente, en este caso el Código Orgánico del Ambiente (Código Orgánico del Ambiente, 2017). Para el recurso aire, la Norma de Calidad del Aire Ambiente, “Anexo 4 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente” establece los límites máximos permisibles de inmisión de los contaminantes criterio del aire en el Ecuador: dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de Carbono (CO), ozono (O₃) y material particulado de diámetro menor a 10 micrones (PM₁₀) y menor a 2.5 micrones (PM_{2,5}) (TULSMA, 2015), los cuales deben ser constantemente monitoreados para asegurar que las concentraciones emitidas no representen

riesgo alguno en la salud de las personas. A pesar de las medidas dispuestas, cabe señalar que, en el Ecuador, son pocas las ciudades que mantienen monitoreos constantes para asegurar una buena calidad del aire, como Cuenca y Quito.

En el área urbana de Quito, las emisiones vehiculares son la principal fuente de contaminación del aire (Secretaría de Ambiente, 2020), por lo que Quito cumple un escenario adecuado para el análisis de contaminación vehicular. La preocupación creciente sobre la contaminación al aire ha dado lugar a una serie de estudios y proyectos enfocados en la disminución de estos contaminantes atmosféricos con el objetivo de preservar la calidad medioambiental y la salud de la población. Varios proyectos como la revisión técnica vehicular (RTV), actualmente gestionada por la Agencia Metropolitana de Tránsito del Municipio de Quito (AMT), busca establecer procesos obligatorios de revisión para todos los vehículos que circulan en el DMQ con el fin de controlar las emisiones vehiculares emitidas por el tubo de escape y también garantizar la seguridad de los vehículos a través del chequeo de sus sistemas de funcionamiento (Páez, 2009). Además, la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ) operada por la Secretaría del Ambiente, busca disponer información confiable sobre la calidad del aire ambiente para las personas interesadas, como autoridades y ciudadanía en general (Municipio de Quito, 2022).

El deterioro de la calidad del aire en el DMQ se ha evidenciado de mayor forma en los últimos años, debido al incremento excesivo del parque automotor (Páez, 2009). Quito es un caso particular muy preocupante ya que sus condiciones climáticas y meteorológicas, topografía, altitud y ubicación geográfica promueven la formación y concentración de contaminantes en la atmósfera; el consumo elevado de combustible ligado a la falta de oxígeno en la atmósfera deteriora la reacción de combustión de los vehículos e incrementa la cantidad de contaminantes, la limitación topográfica impide que los vientos circulen constantemente por la cuenca ocasionando mayor concentración de contaminantes que difícilmente se dispersan, además, el alcance de la luz solar en la ciudad debido a su ubicación geográfica favorece a la creación de smog fotoquímico (Páez, 2009). Todo ello, sumado al crecimiento poblacional y el incremento del parque automotor ha provocado una degradación en la calidad del aire ambiente en la ciudad. Sin embargo, la contaminación no se sujeta tan solo a las condiciones mencionadas anteriormente, sino también a aquellas ligadas la operación del vehículo, condicionadas por el tipo de actividad o trabajo que desarrolla.

La contaminación vehicular está ligada a las condiciones reales de operación, es decir, un vehículo destinado a la actividad de carga y transporte de productos no emite la misma cantidad de contaminantes que un auto particular destinado a uso familiar. La cantidad de

kilómetros recorridos es un índice considerable que permite establecer las condiciones operacionales que afectan el desempeño ambiental de los vehículos de manera cuantitativa. Bajo este contexto, el presente trabajo correspondiente al componente B del proyecto “Estudio de las emisiones vehiculares en el Distrito Metropolitano de Quito” busca establecer cuantitativamente la distancia recorrida por cada tipo de vehículo en la ciudad de Quito y su relación con la actividad realizada, así como determinar los criterios de emisión que representen cada una de estas actividades.

1.1 Objetivo general

Analizar la actividad vehicular de los distintos tipos de vehículos que circulan en el Distrito Metropolitano de Quito tomando como año base el 2019 y determinar la condición de operación que presenta mayor incidencia en el desempeño ambiental.

1.2 Objetivos específicos

1. Investigar el estado del arte respecto a estudios previos realizados en el país referente a la condición de operación que mantiene mayor relación con las emisiones contaminantes vehiculares.
2. Caracterizar los vehículos del área de estudio, en base al tipo de uso y actividad destinada.
3. Analizar las condiciones de operación en las que trabajan los distintos tipos de vehículos, tomando en cuenta las condiciones topográficas de Quito.

1.3 Alcance

A raíz de la preocupación general por el deterioro de la calidad del aire en la ciudad de Quito, se establece el presente proyecto como un aporte aplicado al estudio de las emisiones vehiculares en el Distrito Metropolitano de Quito, lugar que se ha visto afectado por la contaminación en varios ámbitos, debido a sus condiciones territoriales y urbanísticas, que presentan continuamente afectaciones a nivel de salud pública y de medio ambiente.

La motivación principal radica en presentar los criterios que evalúan de manera particular las actividades realizadas por los distintos tipos de vehículos que circulan en Quito como factor clave para la determinación cuantitativa de las emisiones vehiculares, para ello se plantea la determinación de la condición de operación más representativa para los vehículos del Distrito Metropolitano de Quito a través de un análisis temporal del año 2019, la misma que permitirá el posterior cálculo de las emisiones vehiculares. De esta manera se establece una posibilidad de comunicar a las autoridades y a la población en general, la

realidad crítica que se vive actualmente en esta zona buscando, además, impulsar de una vez por todas un cambio en el sistema político que promueva un control mucho más exigente en el tema de transporte.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Contaminación del aire

La contaminación del aire hace referencia a la introducción de agentes contaminantes a la atmósfera, como partículas, productos químicos y materiales biológicos que ocasionan molestias y enfermedades a la población, afectan a los demás organismos vivos, dañan el entorno y deterioran los recursos naturales (Patrap et al., 2013). La Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente define a la contaminación del aire como “la presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o procesos naturales presentes en concentración suficiente y por un tiempo suficiente para interferir en el salud o bienestar de los seres humanos o del ambiente” (TULSMA, 2015). Asimismo, la OMS la define de manera más concreta como “la presencia de agentes químicos, físicos o biológicos que alteran las características naturales de la atmósfera” (WHO, 2022).

Contaminantes atmosféricos

Se conoce como contaminante del aire a la sustancia que se encuentra en la atmósfera y puede llegar a ser perjudicial para los seres humanos y el medio ambiente. Estos contaminantes pueden presentarse como partículas sólidas, líquidas o gaseosas. Según su origen, estos se pueden ser naturales o artificiales, y según la fuente, primarios o secundarios. Los primarios son aquellos que se producen directamente de un proceso, como por ejemplo el gas de CO emitido por el tubo de escape de un vehículo motorizado o el SO₂ liberado por chimeneas industriales (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008). Por otro lado, los contaminantes secundarios no se emiten de forma directa, sino que más bien, se forman en el aire con la interacción de contaminantes primarios. Un ejemplo importante de contaminante secundario es el ozono troposférico el cual se produce cuando los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles provenientes de la quema de combustibles fósiles, reaccionan mediante procesos fotoquímicos a luz solar (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008) conformando así, el smog fotoquímico. Muchos contaminantes pueden ser tanto primarios como secundarios, es decir, que pueden emitirse directamente o formarse a partir de otros contaminantes primarios (Patrap et al., 2013). El material particulado es un ejemplo claro de este tipo de contaminantes; las partículas más grandes como por ejemplo las cenizas provenientes de la combustión del carbón son un ejemplo de contaminante primario (RCCAVA, 2022), mientras que la transformación de emisiones gas a partícula

como la generación de aerosoles de sulfatos a partir del SO₂ son claros ejemplos de partículas secundarias (Envira IOT, 2019).

Existen un gran número de contaminantes en el aire, sin embargo, el estudio se centra en aquellos denominados “contaminantes criterio”, los cuales se establecen en la Norma de Calidad del Aire Ambiente como aquellos cuya concentración debe regirse a un límite máximo que no puede ser superado, dado el riesgo a la salud que este representaría (TULSMA, 2015). Cierta información importante sobre estos contaminantes se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1.

Información breve sobre los contaminantes criterio del aire.

Contaminante	Origen	Características	Efectos
SO ₂	Proveniente de procesos industriales y volcanes. La combustión de combustibles con elevados niveles de azufre genera SO ₂ .	Precursor de la lluvia ácida. Posee un olor característico.	Puede ocasionar problemas respiratorios y cardiovasculares.
NO ₂	Se libera de la combustión a alta temperatura de combustibles fósiles y naturalmente se desprende de tormentas eléctricas.	Precursor de la lluvia ácida. Gas tóxico color marrón rojizo que posee un olor muy penetrante.	Produce enfermedades respiratorias.
CO	Es un producto de combustión incompleta que proviene del tubo de escape de los vehículos, además se origina de varios procesos industriales e incendios forestales.	Incoloro, inodoro, no irritable, pero si venenoso.	Pueden ocasionar daños cerebrales y la muerte.

O ₃	Gas natural de la atmósfera, sin embargo, a nivel del suelo se convierte en un contaminante (ozono troposférico). Se produce por la reacción entre la luz solar y las emisiones industriales, quema de combustibles y emisiones vehiculares.	Gas incoloro e inestable, fuertemente oxidante, de tonalidad azul.	Ocasiona irritación en el sistema respiratorio y empeora el asma.
PM ₁₀	Generalmente emitidas desde fuentes fijas de combustión como chimeneas. Se originan principalmente de la quema de combustibles fósiles y varios procesos industriales.	Mezcla de partículas sólidas y líquidas en el aire que poseen un diámetro menor a 10 micras.	Estos pueden permanecer en el sistema respiratorio y obstruir los conductos bronquiales.
PM _{2,5}	La mayoría de las partículas se forman en la atmósfera como resultado de reacciones químicas.	Mezcla de partículas sólidas y líquidas en el aire que poseen un diámetro menor a 2,5 micras	Más dañinas que el PM ₁₀ , ya que ingresan al torrente sanguíneo y afectan a un número mayor de órganos.

Fuente: (Unicef Ecuador, 2020), (Patrap et al., 2013), (EPA, 2021).

Elaboración propia

Causas y factores responsables de la contaminación del aire

La contaminación del aire puede resultar tanto de acciones humanas como naturales. Las fuentes de contaminación del aire se refieren a los lugares, actividades o factores que son responsables de la liberación de contaminantes a la atmósfera. Los incendios forestales, erupciones volcánicas, dispersión de polen, erosión eólica, evaporación de compuestos orgánicos y radiactividad natural, son algunos de los eventos naturales que contaminan el aire. Mientras que la quema de combustibles fósiles para la generación de energía, las

actividades agrícolas e industriales y los vehículos automotores son algunas de las principales causas de contaminación atmosférica provocadas por el hombre (Romero, 2006).

1.4.2 Fuentes móviles de contaminación del aire

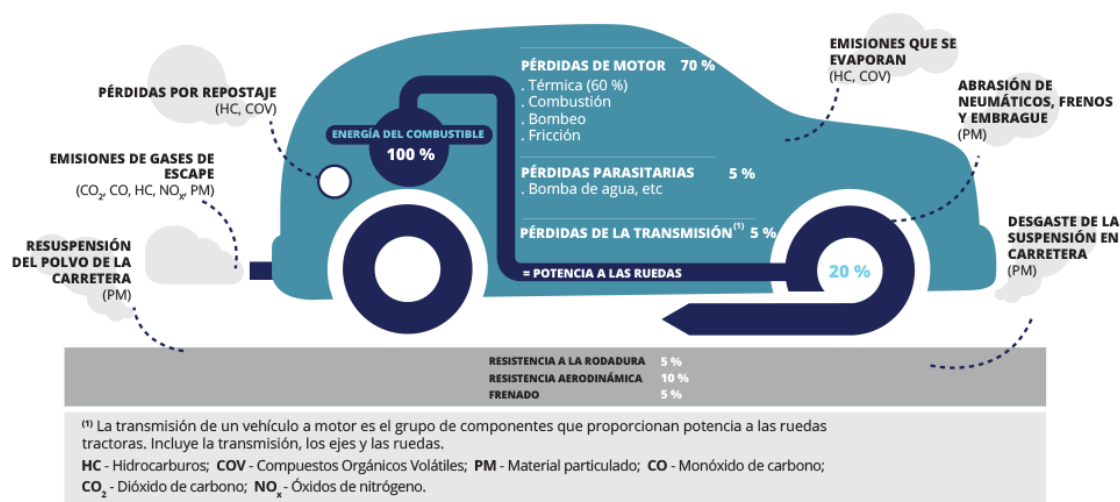
Una de las principales causas de emisión de contaminantes a la atmósfera se da por parte de los vehículos automotores, como se muestra en la Figura 1. Estas fuentes integran un conjunto de procesos que emiten gases y partículas nocivas al aire (Herrera et al., 2012), según el tipo de emisión que se genera.

Tipos de emisiones

- 1. Gases de escape:** Ocurre en vehículos con motores de combustión interna, como productos de la combustión de gasolina, diésel u otro derivado del petróleo empleado como combustible (CEPAL, 2003); que libera a la atmósfera contaminantes como el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y material particulado. Este tipo de emisiones depende mucho de las características del vehículo. El estado de mantenimiento del vehículo, las características del combustible y las condiciones de operación como la velocidad y el nivel de aceleraciones inciden directamente en la cantidad de contaminantes emitidos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013).
- 2. Evaporativas:** Las emisiones evaporativas pueden ocurrir en varios estados del vehículo: cuando se encuentra en reposo y en circulación, recién apagado con el motor caliente, en reposo con el motor frío, en recarga del combustible, entre otros. Estas emisiones dependen de las características del vehículo, además de factores externos como la geografía y meteorología, altura, temperatura ambiente y presión de vapor del combustible (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013).
- 3. Por abrasión:** Corresponde al material particulado que se desprende por el desgaste de los neumáticos, frenos y la superficie del pavimento (Ntziachristos et al., 2014). Estas emisiones dependen de las características del vehículo como el peso y la presión de los neumáticos, además de características de la vía como el tipo de pavimento y el perfil de la carretera que influyen en las emisiones por abrasión. El material particulado que se desprende de la circulación de los vehículos en carretera principalmente corresponde a material inerte de la corteza terrestre (polvo), que además contiene otros contaminantes depositados con anterioridad luego de haber sido emitidos a la atmósfera (CEPAL, 2003).

Figura 1.

Proceso de emisión de contaminantes en vehículos automotores y su eficiencia.



Fuente: (EEA, 2016)

Cabe destacar que no todos los vehículos emiten la misma concentración de contaminantes, ya que dependerá mucho de las características que posee cada vehículo, el tipo de combustible que se emplea, las condiciones de uso, el tipo de motor, entre otros.

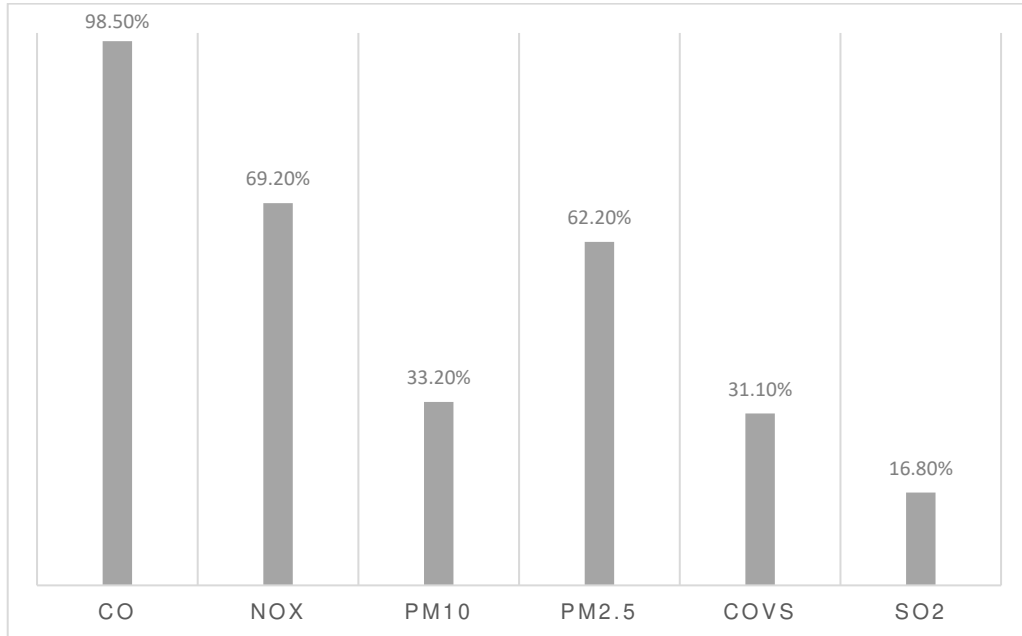
1.4.3 Inventarios de emisiones vehiculares

Las emisiones vehiculares contribuyen al análisis de inventarios de contaminantes, que permiten mantener una gestión y control de la calidad del aire. Estos inventarios se utilizan tanto para fines científicos, como instrumentos para una adecuada gestión ambiental (Pacyna et al., 1995). En el campo científico, los inventarios proporcionan información importante sobre la configuración de las emisiones, como información imprescindible para estudios de transporte químico de contaminantes en el aire. También son de gran utilidad como instrumentos de gestión ambiental ya que permiten comprobar el cumplimiento de objetivos en términos de reducción de emisiones (Pacyna et al., 1995).

Los inventarios de emisiones se actualizan periódicamente a partir de los datos sobre crecimiento poblacional, fuentes de contaminación, cambios en la operación de las fuentes, mejoras en la calidad de los combustibles, modificación regulatoria vigente, variaciones en los métodos de cálculo y factores de emisión (US-EPA, 1997). Actualmente el Distrito Metropolitano de Quito cuenta con inventarios oficiales para los años 2003, 2005, 2007 y 2011 (Baca et al., 2014). De acuerdo con los resultados del inventario del año 2011, las fuentes móviles aportan con los niveles de contaminación detallados en la Figura 2.

Figura 2.

Porcentaje de aporte de emisiones de contaminantes por parte del tráfico vehicular según el Inventario Oficial 2011.



Fuente: (Baca et al., 2014)

Elaboración propia

Modelos de estimación de emisiones

Las emisiones vehiculares se determinan a partir de modelos de estimación. En la mayoría de los países en vías de desarrollo, los inventarios de emisiones vehiculares son escasos debido a la limitación de análisis lo que impide el estudio de futuras emisiones para emplearlo como estrategia de planificación y control de transporte (ISSRC, 2008). Sin embargo, la utilización de modelos de emisiones permite construir inventarios a partir de datos de entrada como características de la flota vehicular, el nivel de actividad y otros factores locales. Los modelos de emisiones comúnmente más utilizados son: MOBILE, MOVES, IVE y COPERT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013). En la Tabla 2 se detalla información relevante acerca de estos modelos.

Tabla 2.

Información sobre los modelos de emisiones vehiculares más comunes.

Modelo	Desarrollador	Función	Última versión
MOBILE (Mobile Source Emissions Factor)	EPA	Utilizado para calcular los factores de emisión.	MOBILE 6.2 (2004)
MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator)	EPA	Programa que estima las emisiones de vehículos en carretera para un amplio rango de contaminantes, expresadas como masa total o como factores de emisión.	MOVES3 (2020)
IVE (International Vehicle Emissions)	Universidad de California	Metodología para la recolección de datos relacionados con el vehículo y modelo para el desarrollo del inventario de emisiones.	Versión 2.0 (2008)
COPERT (Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport)	Agencia Europea de Medioambiente	Utilizado para estimar inventarios y realizar proyecciones de emisiones.	COPERT4 (2006)

Elaboración propia

Fuente: (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013), (Romero, 2017).

La extensión de este estudio sobre emisiones vehiculares, correspondiente al componente C, emplea el software MOVES como modelo principal en el análisis de emisiones vehiculares en Quito. El modelo Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES) desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, consiste en una base de datos escrita en Java/ MySQL que permite estimar emisiones para un amplio rango de contaminantes (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013). La ecuación básica utilizada para estimar las emisiones de los vehículos automotores involucra los datos de la actividad vehicular y el factor de emisión (Herrera et al., 2012) y se representa de la siguiente manera:

$$E_p = KRV \times FE_p$$

Donde:

E_p = Emisiones totales del contaminante p [g/año]

KRV = Kilómetros recorridos por el vehículo [km/año]

FE_p = Factor de emisión del contaminante p [g/km]

Factores de emisión

Los factores de emisión para automóviles se basan en experimentos dinamométricos que se rigen a ciclos de conducción estándar (Llanes et al., 2018). Estos experimentos han permitido determinar factores de emisión para distintos estados experimentales, que tomen en cuenta características propias del vehículo como su peso, marca, edad, kilometraje, tipo de combustible utilizado, entre otros. Esto define una amplia gama de factores de emisión para contaminantes individuales y su relación con las condiciones de operación (Llanes et al., 2018).

Los factores de emisiones del tráfico vehicular corresponden a la cantidad de contaminante emitido por unidad de distancia recorrida por un vehículo (CEPAL, 2003). Con el fin de reducir los niveles de incertidumbre se prioriza emplear factores de emisión locales. En el caso de Quito, la Secretaría del Ambiente emplea factores de emisión provenientes de los estudios del Distrito Federal de México, los cuales comparten características similares de tránsito (Vega et al., 2015)

1.4.4 Actividad Vehicular

El nivel de actividad vehicular depende de muchos factores, ya sean relacionados con el medio externo o con la operación interna del vehículo. Algunos de estos factores son:

Comportamiento de conducción

La velocidad, la aceleración y la desaceleración son variables muy importantes que infieren directamente en las emisiones a la salida del tubo de escape. Dentro de estos patrones de conducción se tiene la potencia específica vehicular (VSP) y estrés de motor (ISSRC, 2008). La VSP se define como la relación de potencias de un vehículo y su masa mientras que el estrés del motor hace referencia al grado de exigencia del motor para suplir la demanda instantánea de potencia del vehículo (Agudelo, 2017).

Patrones de partida

Semejante a los patrones de conducción, estos generan un fuerte impacto en las emisiones por el tubo de escape (ISSRC, 2008). El periodo de tiempo en que un motor se encuentra

apagado antes de ponerse en funcionamiento, también denominado periodo Soak, puede darse de dos formas:

- **Partida en frío**

Se produce cuando el motor se ha mantenido en reposo por más de 18 horas. Este tiempo de partida suele provocar mayor cantidad de emisiones dado que no alcanza la temperatura de funcionamiento del motor.

- **Partida en caliente**

Se produce cuando el motor se ha apagado por 5 minutos o menos antes de ponerse en funcionamiento.

Variables ambientales

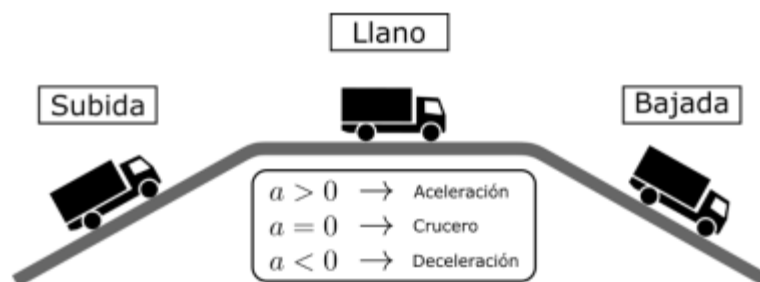
La altitud y la pendiente son las variables que más condicionan al vehículo durante su funcionamiento. Las pendientes pronunciadas obligan a los conductores a optar por pautas de conducción que se ven directamente reflejadas en una mayor emisión de gases contaminantes (Agudelo, 2017).

La malla vial en el DMQ que ocupa zonas de pendientes, algunas leves y otras pronunciadas, obligan a los vehículos a desarrollar eventos de parada y arranque continuos que desgastan el motor (Agudelo, 2017), ocasionan un mayor consumo de combustible y generan una mayor emisión de contaminantes a la atmósfera.

Los modos de conducción hacen referencia a las distintas situaciones que presenta un vehículo según su interacción con la aceleración, la velocidad, las pendientes, entre otras (Agudelo, 2017), esto afecta directamente a la operación del vehículo y a sus emisiones contaminantes. La Figura 3 muestra una estimación de los modos de conducción a partir de tres niveles de pendiente y tres estados de aceleración.

Figura 3.

Clasificación de los modos de conducción



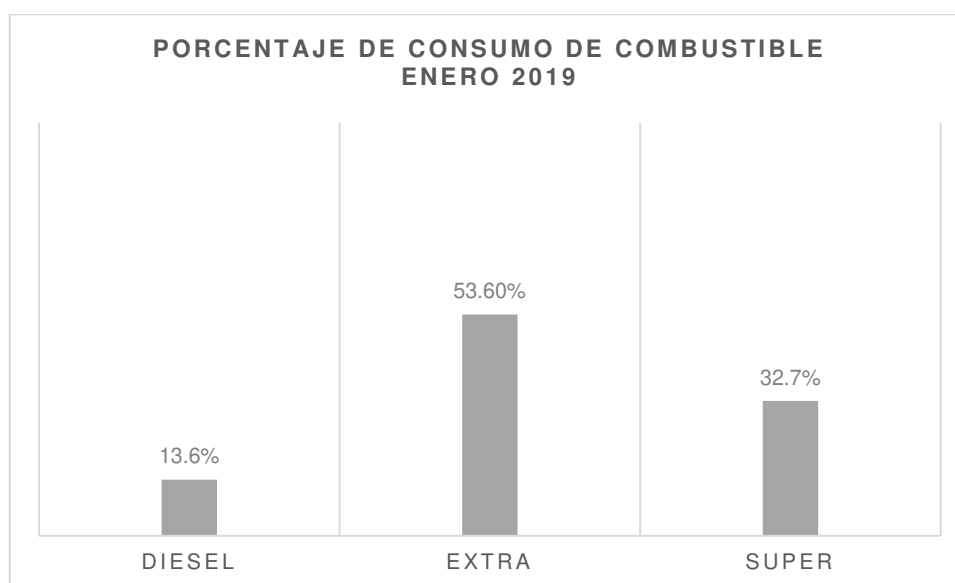
Fuente: (Agudelo, 2017)

Características del combustible

Un parámetro muy importante en el análisis de emisiones es el tipo de combustible que se utiliza, ya que este es el principal actor en el proceso de combustión. En el Ecuador, los combustibles más empleados para la actividad vehicular son la gasolina extra, la gasolina super y diésel (INEC, 2020). Para el año 2019 se destacó un consumo mayor de gasolina extra, como se puede observar en la Figura 4.

Figura 4.

Consumo de combustible para actividad vehicular 2019.



Fuente: (EP Petroecuador, 2020)

Elaboración propia

La gasolina y el diésel son mezclas de hidrocarburos que contienen átomos de hidrógeno y carbono. En un proceso de combustión perfecta el oxígeno en el aire convertiría todo el hidrógeno del combustible en agua y todo el carbono en dióxido de carbono, sin embargo, el proceso de combustión en un motor no es perfecta y eso produce la emisión de distintos tipos de contaminantes a la atmósfera (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013).

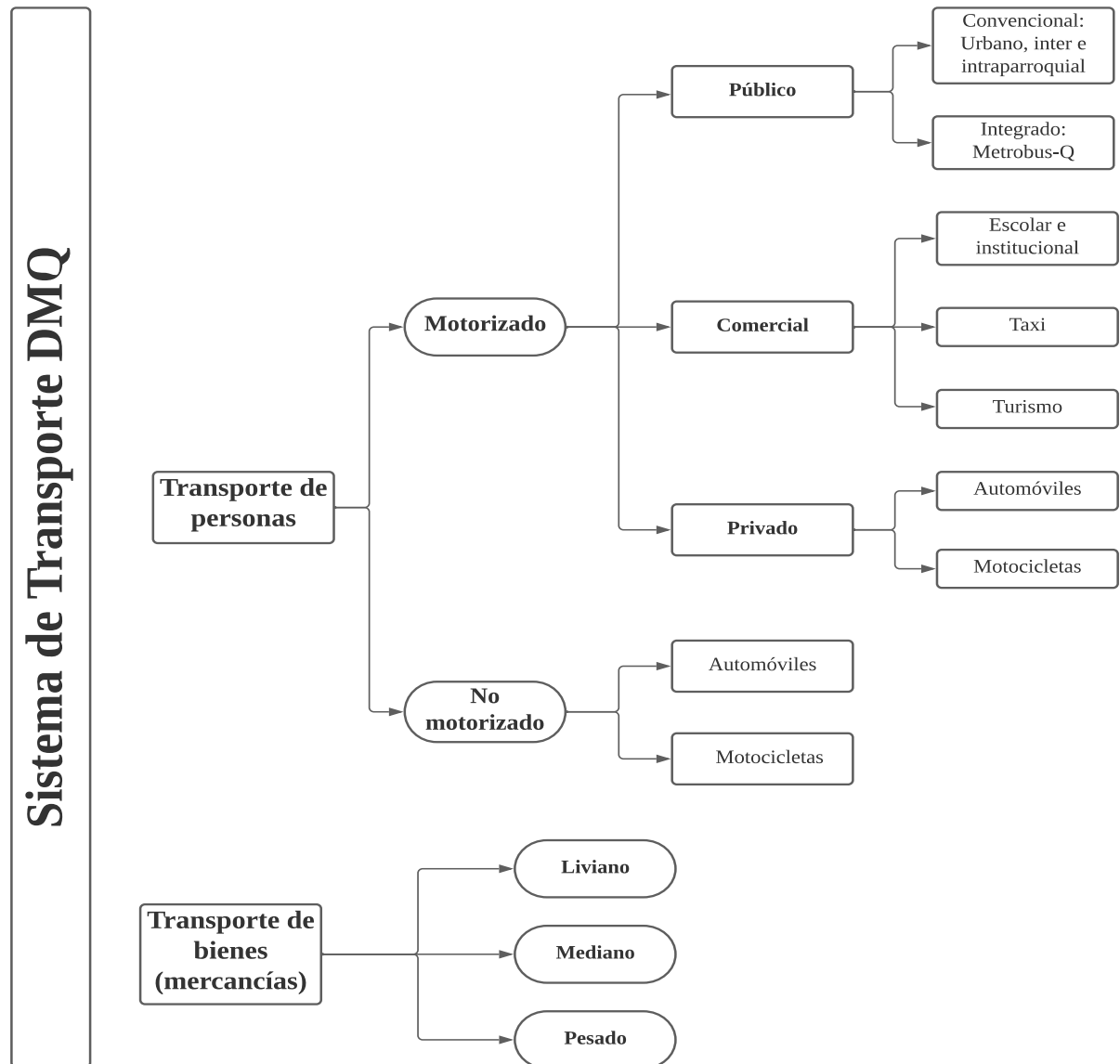
Los vehículos que trabajan con gasolina emiten principalmente monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre e hidrocarburos, mientras que los vehículos que funcionan con diésel emiten partículas sólidas en forma de hollín que da lugar a los humos negros, hidrocarburos no combustionados, óxidos de nitrógeno y sulfatos (CEPAL, 2003).

Aspectos sobre el sistema de transporte

Según el Plan de Movilidad del Distrito Metropolitano de Quito, el sistema de transporte se estructura como el diagrama de la Figura 5.

Figura 5.

Sistema de Transporte del Distrito Metropolitano de Quito



Fuente: (Empresa Municipal de Movilidad y Obras públicas, 2009)

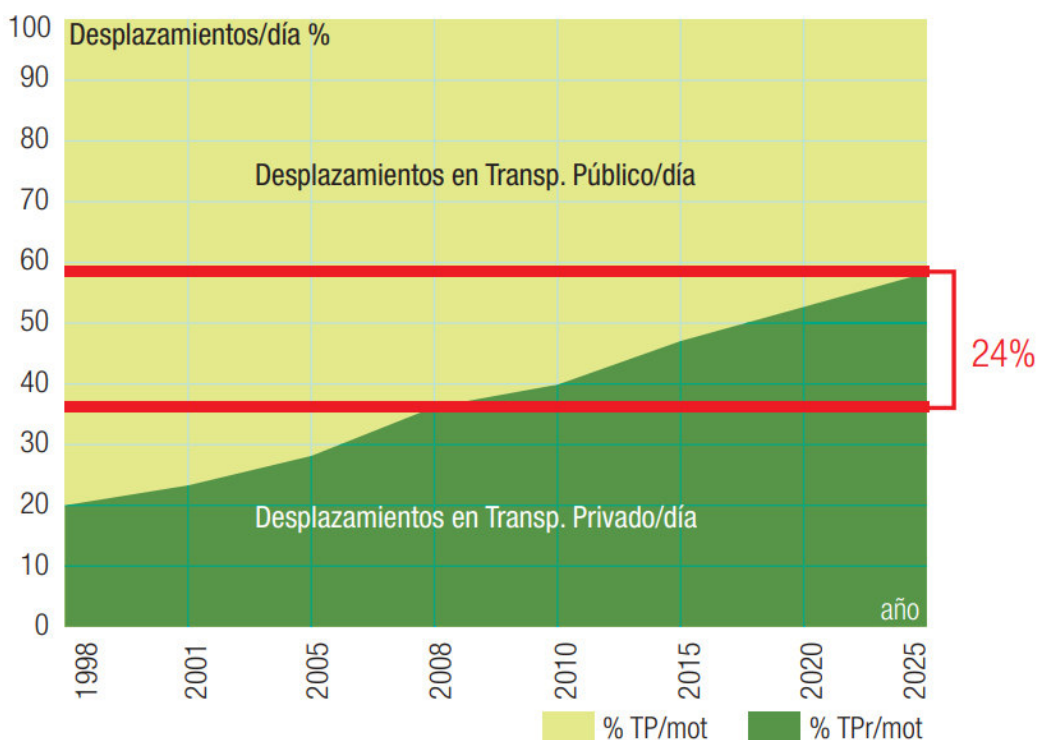
Elaboración propia

El transporte de personas en el DMQ se distribuye en una bipartición modal, donde interfiere la movilidad a través de transporte público (TP) o transporte privado (TPr). Estos me-

dios cubren el 96% de los vehículos motorizados de mayor ocupación en el DMQ, generando alrededor de 1.6 millones de viajes al día para transporte público y 2.9 millones para transporte particular (Empresa Municipal de Movilidad y Obras públicas, 2009).

Figura 6.

Porcentaje de desplazamientos en transporte público y privado en el DMQ.



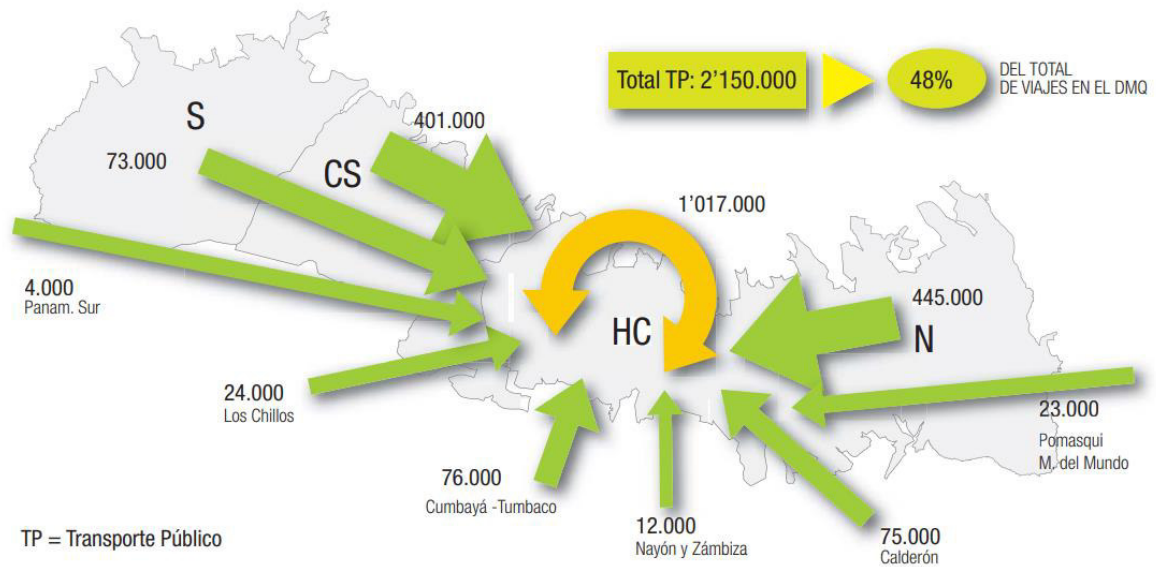
Fuente: (Empresa Municipal de Movilidad y Obras públicas, 2009)

La demanda de viajes desde 1998 hacia la proyección del 2025, muestra que los viajes en transporte público presentan una tendencia desfavorable de uso, disminuyendo en 1.44% anual los viajes en transporte público e incrementando proporcionalmente los viajes en transporte privado. Al año 2025, la tendencia indica que el 59% de los viajes se realizarían en transporte individual y el 41% en transporte público (Empresa Municipal de Movilidad y Obras públicas, 2009).

Los viajes se concentran en mayor medida en el hipercentro de Quito, como se observa en la Figura 7, que incluye el Centro Histórico, al que confluyen cerca del 50% de los viajes que se realizan en transporte público. Además, se menciona que el 64% proviene de fuera y el 36% se mantiene dentro de los límites de su jurisdicción. La causa más visible de esta gran concentración es la alta concentración de actividades, equipamientos urbanos, servicios y principalmente de los centros que generan fuentes de trabajo (Empresa Municipal de Movilidad y Obras públicas, 2009).

Figura 7.

Número de desplazamientos diarios en transporte público al hipercentro de Quito – 2025.

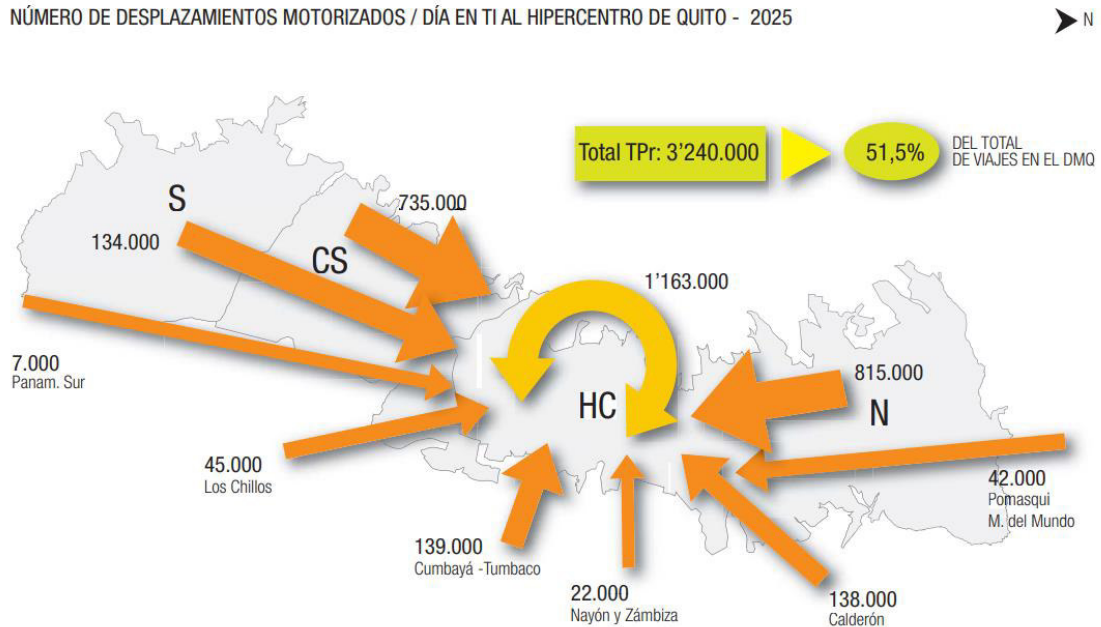


Fuente: (Empresa Municipal de Movilidad y Obras públicas, 2009)

Por otro lado, el número de viajes en transporte privado crece a razón de 10,8% anual, constituyendo el 45% del total de viajes. Estos, al igual que el transporte público se concentran en el hipercentro de Quito como se observa en la Figura 8, en el que se producen cerca de 700.000 de viajes por día; de ellos, el 64% proviene de fuera y el 36% son internos (Empresa Municipal de Movilidad y Obras públicas, 2009).

Figura 8.

Número de desplazamientos diarios en transporte privado al hipercentro de Quito – 2025.



Fuente: (Empresa Municipal de Movilidad y Obras públicas, 2009)

Índice de kilómetros recorridos por vehículo (KRV)

La cantidad de kilómetros recorridos por vehículo (KVR) es un indicador que define el número de kilómetros recorridos por un vehículo o flota de vehículos en una zona geográfica determinada, por un tiempo definido (Góngora et al., 2012). El nivel de actividad se puede estimar directamente a partir de los datos de flota, es decir a partir de los modelos de transporte y conteos vehiculares, asimismo de datos estadísticos regionales y/o encuestas de usuarios (Salazar et al, 2008).

La actividad vehicular está ligada a la labor que cumple el vehículo, es decir un bus de transporte público no circula en las mismas condiciones que un auto particular. Existen una serie de parámetros que se deben tomar a consideración al momento de determinar emisiones las cuales se encuentran ligadas a su estado de operación como la tecnología del vehículo, el estado del motor, la calidad del combustible, el tipo de vehículo, entre otros (Salazar et al, 2008).

Las cifras correspondientes al KRV brindan información estadística esencial sobre el volumen de tráfico de una muestra en circulación. A menudo el KRV se emplea como un indicador de tráfico que destaca patrones de movilidad y tendencias de viaje; además cumple

un papel muy importante en estudios de calidad del aire, mantenimientos de caminos, subsidio de combustibles, riesgos de accidentes, etc. (Góngora et al., 2012).

Como datos de entrada requeridos para el análisis de emisiones vehiculares a través del modelo de emisión MOVES y principal indicador de la actividad vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito, los kilómetros recorridos son los principales resultados a obtenerse para la caracterización según el nivel de actividad de cada vehículo.

1.4.5 Estado del arte

El estudio de las emisiones vehiculares en el Ecuador ha tenido mayor acogida en las ciudades con mayor número de habitantes, sin embargo, no todas cuentan con los equipos y la tecnología necesaria para llevar a cabo estudios sobre la calidad del aire. Esta falta de información acarrea falencias en las medidas administrativas sobre la gestión y control de la calidad del aire, es por ello que el estudio de emisiones mantiene una importancia realmente significativa para la sociedad, ya que permite comprobar si el nivel de emisiones contaminantes no representa un riesgo para la salud pública a través de las estimaciones planteadas (Vega et al., 2015).

A partir del 2003, el tema de la calidad del aire empezó a tomar fuerza en el Distrito Metropolitano de Quito, promoviendo el fortalecimiento institucional de entidades dispuestas a mejorar la gestión de la calidad del aire (Páez, 2009). El Municipio de Quito creó la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito (CORPAIRE) en el 2004, cuya función dicta “llevar a cabo el proceso de revisión técnica vehicular, generar información sobre las emisiones que sirvan de base para el diseño de acciones de prevención y control de la contaminación, apoyar a la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente al establecimiento de políticas para el manejo del recurso aire y monitorear la calidad del aire a través de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire (REMMAQ)” (Páez, 2009). La REMMAQ cuenta con nueve estaciones de monitoreo que tienen la capacidad de analizar de forma automática y continua los contaminantes criterio del aire en Quito, entre ellas se tiene las estaciones Carapungo, Cotocollao, Jipijapa, Belisario, El Camal, Centro, Guamaní, Tumbaco y Los Chillos (Municipio de Quito, 2022).

La Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito a través de la CORPAIRE publica anualmente un Informe de la Calidad de Aire, en el cual se detalla información sobre los niveles de contaminación de los contaminantes criterios medidos en las distintas estaciones de la REMMAQ, misma que ha sido actualizada y repotenciada los últimos años con la incorporación de equipos y tecnología necesaria para aportar con información de calidad más fiable y precisa (Secretaría de Ambiente, 2020).

Otro esfuerzo realizado por la CORPAIRE es la elaboración de inventarios de emisiones. Estos inventarios permiten obtener datos de emisión por cada tipo de fuente generadora y además disponer de una herramienta para el mejoramiento continuo de medidas de control y mitigación sobre la calidad del aire (Baca et al., 2014). Quito cuenta con inventarios oficiales para los años 2003, 2005, 2007, 2009 y 2011; debido a la falta de actualizaciones para estos últimos 11 años, existen una serie de estudios derivando de esta necesidad.

Cadena y Endara (2021), elaboraron un inventario de emisiones para fuentes móviles en el DMQ tomando como año base el 2019; su trabajo engloba el cálculo de emisiones vehiculares a partir de la clasificación previa del parque automotor y la determinación de los factores de emisión así como los datos de actividad referentes al kilometraje recorrido, todo ello con el objetivo de actualizar la información referente a emisiones de los vehículos en Quito y dar a conocer el estado más actual de la calidad del aire (Cadena et al., 2021)

Asimismo, otro estudio realizado por Arguello (2020), presenta una actualización de emisiones de fuentes fijas de combustión y relleno sanitario con año base 2018 para el Distrito Metropolitano de Quito, donde se estima la cantidad de contaminantes emitidos por los procesos de combustión en Industrias, termoeléctricas y el relleno sanitario de Quito a través de los factores de emisión provistos por la Secretaría de Ambiente y los seleccionados por la EPA, EEA y IPCC, con el objetivo de disponer información para futuros inventarios que se realicen en pro de mejorar la calidad ambiental (Arguello, 2020).

Cuenca es otra de las ciudades destacadas por la importancia brindada al tema de calidad ambiental. La Empresa Pública de Movilidad, Tránsito y Transporte (EMOV EP) de Cuenca cuenta con información fiable sobre la contaminación atmosférica adquirida a través de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca, entidad que opera desde el 2008 y posee alrededor de 20 estaciones pasivas y 3 estaciones automáticas que trabajan con métodos y procedimientos reconocidos a nivel internacional y aportan con datos de contaminación atmosférica a tiempo real. El apoyo del Ministerio y la Secretaría de Ambiente del Municipio de Quito han sido clave para el cumplimiento de requisitos en la instalación de estas redes de monitoreo. Cuenca cuenta con 4 informes de calidad del aire publicados en los años 2007, 2009, 2011 y 2014 (EMOV, 2014). El informe más actual publicado por la EMOV EP hace referencia al año 2020, el cual analiza una perspectiva relacionada con el tráfico vehicular durante la pandemia del COVID-19 (EMOV, 2020).

En Cuenca existe un estudio realizado por Sarango y Moncayo (Sarango et al., 2016) que se enfoca en el tema de interés del presente trabajo, es decir, en la determinación del indicador KVR para los vehículos que circulan por la ciudad. Este estudio presenta los

resultados de la determinación de kilómetros recorridos para los distintos vehículos clasificado en: automóvil, jeep, camioneta, bus y taxis que circulan en la ciudad de Cuenca; para ellos los autores emplearon un instrumento de medición conocido como odómetro que registró la cantidad de kilómetros transitados en la ciudad por un periodo de tiempo de una semana. Gracias a ello es posible determinar una diferencia de actividad entre los distintos tipos de vehículos analizados y generar una caracterización de los mismos (Sarango et al., 2016). Al igual que el estudio descrito, el presente trabajo se enfoca en la determinación de kilómetros recorridos para los distintos tipos de vehículos que circulan en el DMQ, siendo este, el referente más cercano al objetivo principal.

Adicionalmente cabe señalar que existe un inventario que compila la información de emisiones atmosféricas de los cantones de Ambato, Riobamba, Santo Domingo, Latacunga, Ibarra, Manta, Portoviejo, Esmeraldas y Milagro desarrollado por el Ministerio del Ambiente en el año 2014, tomando como año base al 2010. Este informe presenta un resumen de las emisiones de contaminantes primarios y de gases de efecto invernadero (GEI) recopiladas de distintas fuentes como el tráfico, la vegetación o los rellenos sanitarios (Ministerio del Ambiente, 2014).

En otras ciudades del Ecuador, el tema del estudio de la calidad del aire ambiente no se ha desarrollado de manera autónoma, ya sea por la falta de recursos para la implementación de estaciones de monitoreo y/o la inadecuada gestión ambiental por parte de las autoridades competentes (Páez, 2009). Esto ha limitado el acceso a información sobre el estado de la contaminación del aire en otros puntos del país, reduciendo el registro de inventarios regulares tan solo para Quito y Cuenca. Sin embargo, los estudios alternos realizados como aporte en trabajos de titulación y proyectos investigativos han proporcionado información valiosa sobre la actualización de emisiones vehiculares en zonas determinadas de estudio, las cuales pueden ser de gran ayuda para continuar con el estudio general de la calidad del aire en el Ecuador.

2 METODOLOGÍA

Como parte fundamental del estudio de emisiones vehiculares en el Distrito Metropolitano de Quito, este componente se orienta a determinar el nivel de actividad vehicular de la zona de estudio a través del indicador de kilómetros recorridos por vehículo (KRV), utilizando un enfoque cuantitativo que pretende determinar el kilometraje recorrido por cada vehículo para el año 2019, haciendo una recolección, tratamiento y análisis de los datos existentes en la base de datos de la Agencia Metropolitana de Tránsito (AMT), generado por el proceso anual de la Revisión Técnica Vehicular (RVT).

Además, este estudio pretende determinar las condiciones de operación a través de rutas típicas ligadas al análisis de emisiones vehiculares, tomando en cuenta factores como la pendiente de terreno y las condiciones de tráfico del DMQ que afectan directamente en la producción de contaminantes de los vehículos que circulan en Quito. De este modo, se complementa el estudio añadiendo un análisis espacial de actividad a los vehículos registrados.

Para este caso, la clasificación de los vehículos se realiza para las siguientes categorías:

- a. Automóvil 4 tiempos
- b. Bus
- c. Camioneta
- d. Vehículo de carga
- e. Furgoneta
- f. Furgoneta pesada
- g. Híbrido
- h. Microbús
- i. Minibús
- j. Motocicleta

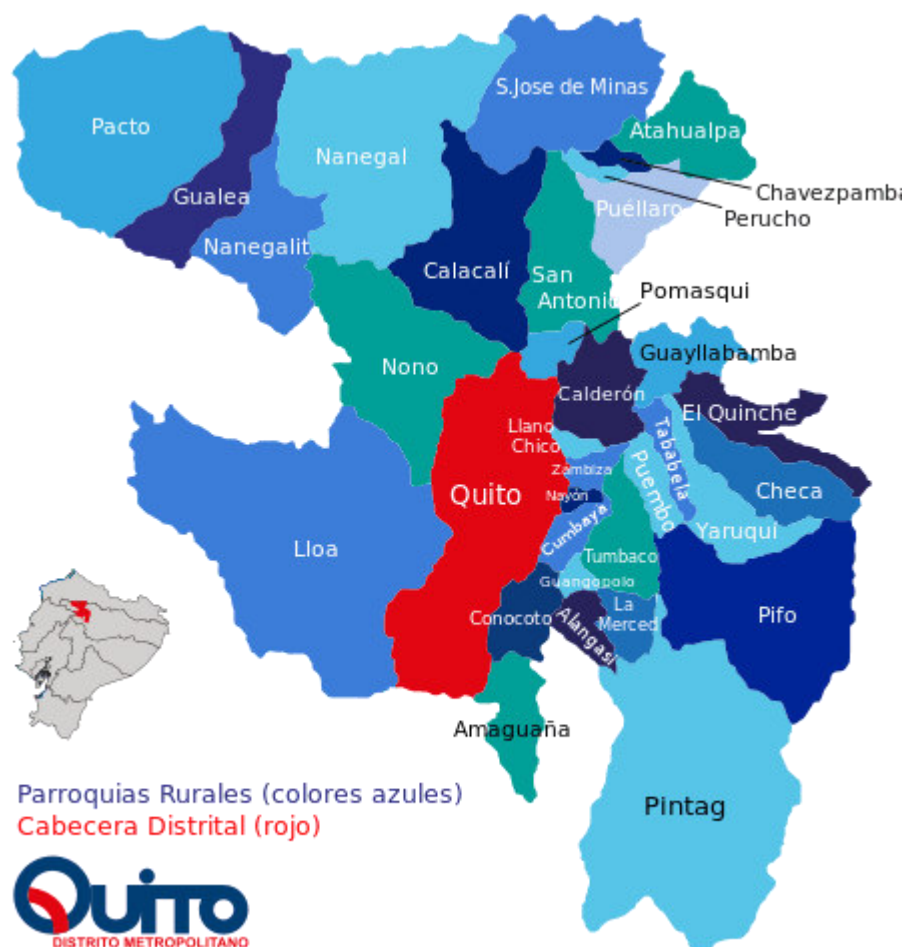
2.1 Selección de variables espaciales y temporales

Caracterización demográfica del Distrito Metropolitano de Quito

Para este proyecto se plantea estudiar a la población de automotores contenidos en el territorio del Distrito Metropolitano de Quito, que alberga al 15.5 % de la población nacional según el último Censo poblacional del 2010 (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011).

Figura 9.

Mapa Político del Distrito Metropolitano de Quito con sus parroquias urbanas y rurales.

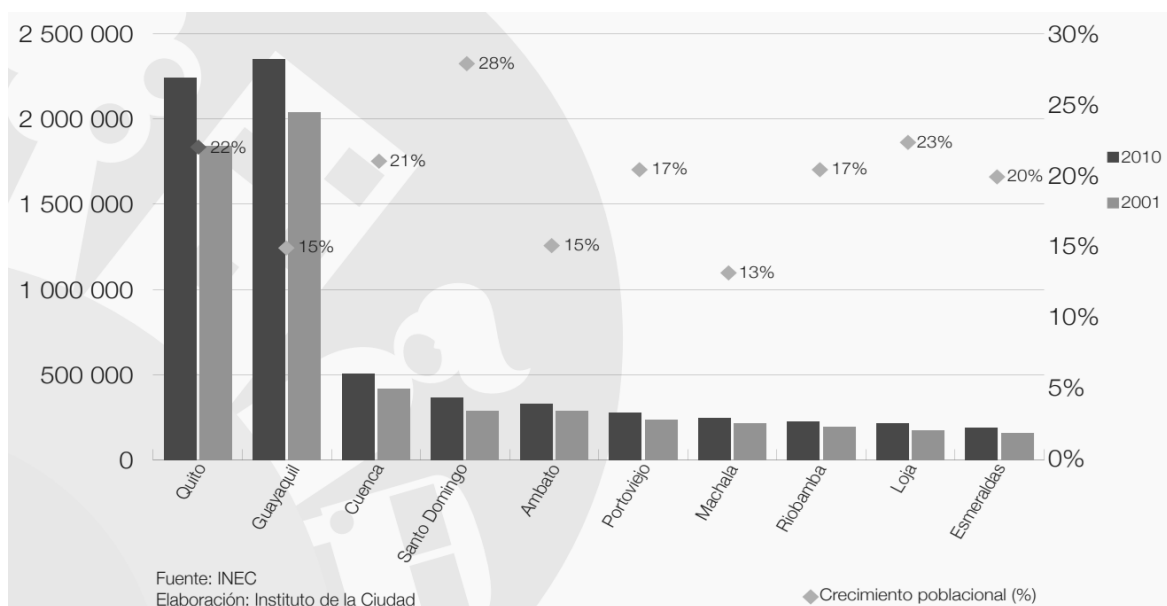


Fuente: (Municipio de Quito, 2021).

El DMQ cuenta en la actualidad con 2.414.585 habitantes repartidos en sus 65 parroquias urbanas y rurales, las cuales se pueden constatar en la Figura 9. Dentro de las cuales, en las parroquias urbanas se concentra el 70 % de la población, que asciende a 1.688.628 habitantes, mientras que la zona rural está conformada por el 30 % restante, con 725.757 habitantes (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011). Quito es la ciudad con la mayor tasa de crecimiento de la población en el país (Instituto de la Ciudad, 2013), ocupando el tercer lugar en la tasa de crecimiento poblacional después de Cuenca (21 %) y Santo Domingo (28 %), como se puede observar en la Figura 10.

Figura 10.

Crecimiento poblacional del DMQ.



Fuente: (Instituto de la Ciudad, 2013)

Las razones del crecimiento poblacional en el DMQ se deben principalmente a la migración interna y externa de la población (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011), sobre todo en los últimos años donde se ha evidenciado de sobremanera la migración de ciudadanos venezolanos al Ecuador, quienes se han concentrado en las principales ciudades con el objetivo de conseguir oportunidades laborales.

Esta ciudad plantea un desafío en el análisis puesto ya que presenta una concentración poblacional elevada tanto en zonas rurales como urbanas. Las parroquias que representan la mayor tasa de crecimiento son: Calderón (6.58 %), San Antonio (5.60 %), Nayón (5.46 %), Conocoto (4.95 %), Cumbayá (4.55 %) y Pomasqui (3.98 %), como se presenta en la Tabla 3. La tasa de crecimiento poblacional de estas parroquias es casi el triple de la zona urbana (1.4%) y contrapone las tasas de crecimiento de las parroquias rurales más alejadas del centro de la ciudad como Nono, San José de Minas, Pacto, Gualea y Chavezpamba (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2020).

Tabla 3.

Porcentaje de expansión urbana hacia las parroquias rurales.

Proceso de expansión urbana hacia las parroquias rurales	
Parroquia	Porcentaje de expansión
Calderón	6.58
San Antonio	5.60
Nayón	5.46
Conocoto	4.95
Cumbayá	4.55
Pomasqui	3.98

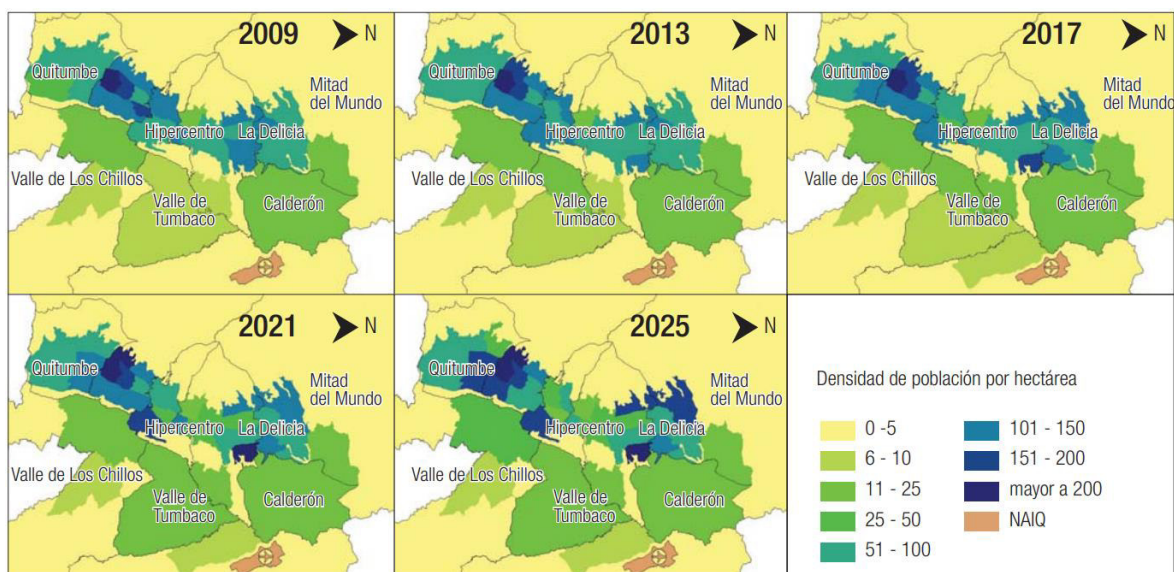
Fuente: (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011)

Densidad poblacional del DMQ

En cuanto a densidad poblacional, datos del 2016 confirman que en la zona urbana de Quito existe una densidad de 54.3 habitante/ha, encontrándose la mayor tasa de 131.4 hab/ha en la administración zonal Eloy Alfaro, consiguiente Manuela Sáenz que cubre toda la zona del centro histórico con 98.9 hab/ha (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2020). Según los datos de ocupación de predios, existen 38.492 hectáreas de zona urbana de las cuales 7.932 Ha se encuentran sin construcción alguna. De este total de áreas disponibles, el 48 % corresponde al área de la ciudad central y el 52 % se encuentran en las áreas urbanas correspondientes a las parroquias rurales. La subocupación del suelo urbano es evidente y se da como producto del crecimiento expansivo lo cual implica una baja densidad poblacional en las áreas urbanas (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014). El crecimiento poblacional en el DMQ se puede evidenciar en la Figura 11.

Figura 11.

Evolución de la densidad de población en el DMQ por Administraciones Zonales



Fuente: (Empresa Municipal de Movilidad y Obras públicas, 2009)

Caracterización vial del Distrito Metropolitano de Quito

El DMQ posee un crecimiento expansivo muy característico que se registra a partir de los años 70, sin embargo, con el crecimiento desmedido ha sobrepasado los límites naturales de la implantación original de la ciudad de Quito, ocupando parroquias rurales. Este crecimiento ha desarrollado una estructura territorial con muchas deficiencias administrativas y ambientales que promueven la subutilización del suelo urbano generando bajas densidades; destruyendo recursos no renovables con potencialidad ecosistémica; modificando las áreas naturales y generando contaminación visual; la concentración disfuncional de equipamientos y actividades económicas; y la ineficiencia en las redes viales y transporte público (Empresa Municipal de Movilidad y Obras públicas, 2009).

La constante necesidad de conectar la zona sur con la zona norte de Quito, viceversa y los valles aledaños caracterizan al DMQ como un lugar donde el transporte resulta bastante conflictivo. Los sistemas de transporte público existentes cubren gran parte de las zonas de demanda, sin embargo, la limitada integración de los mismos crea inconvenientes en la red vial (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011), donde se tienen zonas de saturación de transporte público y otras en contraste, sin planificación vial.

El deterioro de la calidad del aire en los últimos años se debe principalmente a la mala calidad de los combustibles, agravada por el incremento del parque automotor y la primacía del transporte privado sobre el transporte público (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011). Las autoridades buscan promover la movilización mediante modos de transporte público o alternativo y la incorporación de los ejes verdes longitudinales y transversales para impulsar mejoras significativas en los índices de calidad de aire distrital (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011), pero para ello es necesario mejorar el sistema de integración de los medios de transporte y buscar alternativas a través de estudios actualizados y fiables.

Periodo de estudio

Este trabajo estudia un periodo de tiempo limitado al año 2019, donde se requiere la información del año previo para el cálculo de la diferencia de kilometraje registrado, de tal manera se establece la cantidad de kilómetros que ha recorrido un vehículo desde el año 2018 hasta el 2019 con el fin de determinar la variación en las condiciones de operación y caracterizar el parque automotor en función de la actividad destinada para cada vehículo.

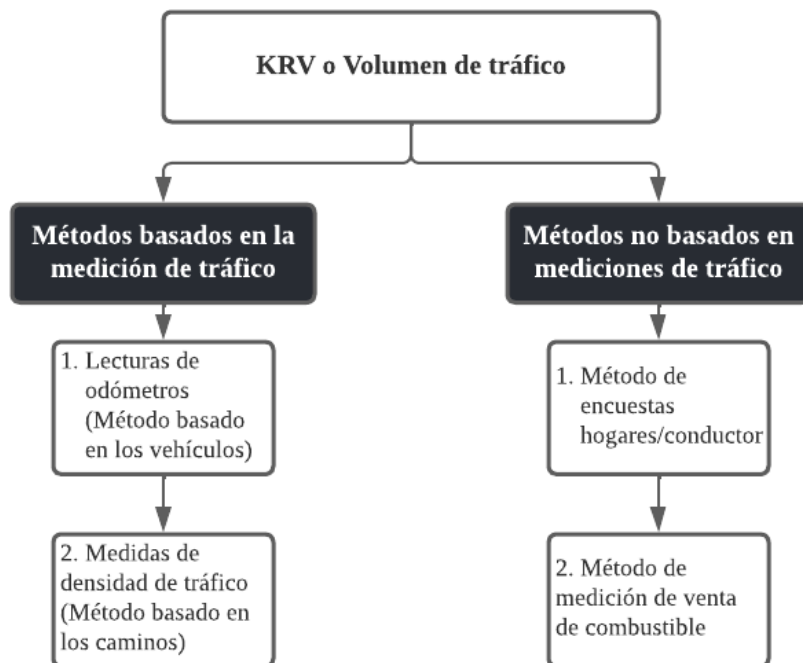
Cabe recalcar que se ha tomado en cuenta al 2019 dado que los años más actualizados como el 2020, 2021 y 2022, se han visto inmersos en las consecuencias de la pandemia del COVID-19, por lo que generar un estudio sobre estos años atípicos puede producir resultados inciertos e irregulares. El 2019 aún presenta información característica del Distrito Metropolitano de Quito en las bases de datos, dada la habitualidad del transporte antes de las medidas urgentes adoptadas para evitar los contagios por COVID-19 a inicios del 2020.

2.2 Determinación del índice KRV

La determinación de los kilómetros recorridos por cada vehículo generalmente se determina con un valor aproximado a través de sus métodos de estimación. Estas cifras se dividen en dos subcategorías como se muestra en la Figura 12.

Figura 12.

Métodos de estimación del indicador KRV



Fuente: (BITRE, 2011)

Para vehículos particulares en esta investigación, se emplea el método basado en la medición del tráfico a través del registro anual de lecturas de recorrido para los vehículos de la muestra. Para obtener el valor de KRV totales es necesaria la inspección periódica de los vehículos de la muestra (Góngora et al., 2012). Desde el año 1993, todos los vehículos que circulan en Quito ya sean particulares o de servicio; están sometidos a un control anual obligatorio de sus condiciones mecánicas y de emisiones de escape con el fin de garantizar el cumplimiento de las normas de emisión (Vega et al., 2015) (Páez, 2009), este programa es conocido como la Revisión Técnica Vehicular. Este registro permite generar bases de datos anuales que pueden ser procesados con el objetivo de caracterizar el parque automotor del DMQ en función del tipo de vehículo, tipo de combustible, año de fabricación, tamaño del motor, etc. Esta información se encuentra almacenada en la base de datos de la AMT y permite determinar el índice KRV mediante el uso del valor de kilómetros recorridos anuales de cada vehículo registrado que haya aprobado este proceso. Por otro lado, el volumen de tráfico para buses, taxis y otro tipo de vehículos destinados a transporte público puede determinarse a través de la realización de encuestas; sin embargo, emplear este método para todo el territorio de estudio supone una logística sumamente amplia y un

tiempo de recolección de información que excede por mucho el tiempo límite de entrega de este proyecto por lo cual se reduce la muestra a un número limitado de encuestados que representarán al universo del estudio.

Las visitas fueron realizadas a las siguientes cooperativas de transporte:

- Compañía de taxis Rochdale
- Cooperativa de taxis San Felipe

Estas visitas se realizaron con el objetivo de constatar información típica de las rutas, por ejemplo, el tiempo aproximado que recorre un taxi durante un día laborable sin pasajeros o el tiempo de jornada laboral. Esta información permite determinar qué porcentaje de los kilómetros recorridos al año representan un transporte útil, mientras que el tiempo restante representaría un tiempo muerto, el cual aporta de igual manera con emisiones contaminantes a la atmósfera sin cumplir una función de transporte específica. De esta manera es posible analizar en futuros proyectos algunas posibles soluciones para optimizar el recorrido y las condiciones de operación de este tipo de vehículos y reducir significativamente las emisiones.

2.2.1 Recopilación de la información

En este caso, para acceder a la base que contiene los datos necesarios de la RVT, se realizan los procesos administrativos pertinentes que nos permiten tener acceso al sistema de la AMT, para ello se inició con una solicitud de parte de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional hacia la Directora General Metropolitana de Tránsito, en donde se detalla meticulosamente la información necesaria para el estudio del trabajo, entre los cuales se especificaron los siguientes criterios técnico ambientales:

- a. Número de placa o número único
- b. Marca
- c. Modelo
- d. Año de fabricación
- e. Tipo de vehículo
- f. Subtipo de vehículo
- g. Clase del vehículo
- h. Subclase del vehículo
- i. Kilometraje
- j. Tipo de combustible
- k. Número de ejes

I. Emisiones según tipo de combustible

Para el actual componente los datos de mayor interés engloban el número de placa (necesario para la identificación de cada vehículo estudiado y la comparación de resultados entre distintos años), año de fabricación, el tipo y subtipo de vehículo y el kilometraje (dato clave para la determinación de la actividad de los vehículos en el DMQ para el periodo establecido).

Como información adicional se solicitó el registro de vehículos que presten algún tipo de servicio y se encuentren aliados a alguna institución o cooperativa. Estos datos sobre institucionalidad se solicitan con el fin de separar la información de vehículos de servicio público con los particulares. Con esta información finalmente se realiza un tratamiento de datos exhaustivo para el año base 2019 determinando principalmente el valor del kilometraje recorrido. De esta manera es posible caracterizar los vehículos del parque automotor del DMQ en función de su actividad vehicular.

2.2.2 Procesamiento de Datos

La base de datos proporcionada por la AMT para el año 2019 contiene tan solo 372792 vehículos registrados de distintos tipos. A comparación de las estadísticas generales de cada año presentadas por la AMT en la Tabla 4, se puede observar que el año base 2019 presenta un total de 471493 vehículos aprobados, por lo que se tiene un 20.93% de datos faltantes, sin embargo, no se logró obtener justificación a la falta de información presentada hasta la finalización de este proyecto, por lo que se optó por trabajar con la información proporcionada como una muestra representativa de todo el parque vehicular de Quito.

Tabla 4.

Registro general de aprobación para la RVT del año 2019

AÑO 2019								
TIPO DE VEHICULO	Total Revisiones	Total Vehiculos	APROBADOS		CONDICIONALES		EXONERADOS	
			Numero	Porcentaje	Numero	Porcentaje	Numero	Porcentaje
LIVIANOS REGULARES	521'994	383'819	329'058	85.73	8'199	2.14	46'562	12.13
MOTOS	53'367	37'113	29'626	79.83	1'630	4.39	5'857	15.78
REMOLQUE								
TAXIS EMSAT	33'759	11'609	11'275	97.12	333	2.87	1	0.01
TAXIS	443	155	142	91.61	13	8.39		
BUS INTERPARROQUIAL	1'277	341	337	98.83	4	1.17		
BUS INTERPROVINCIAL	690	302	276	91.39	26	8.61		
BUS INTERCANTONAL	694	253	242	95.65	11	4.35		
BUS URBANO	8'669	2'240	2'086	93.13	154	6.88		
BUS OTROS	2'704	1'120	995	88.84	123	10.98	2	0.18
BUS ARTICULADO	757	294	291	98.98	3	1.02		
BUS TURISMO	48	21	20	95.24	1	4.76		
CARGA	43'358	18'492	16'938	91.6	1'552	8.39	2	0.01
ESCOLARES	18'825	6'035	5'662	93.82	373	6.18		
LIVIANOS INTENSIVOS	28'680	9'699	9'291	95.79	408	4.21		
TOTAL	715'265	471'493	406'239	86.16	12'830	2.72	52'424	11.12

El procesamiento de datos que se especifica a continuación es el realizado para la muestra: se emplea el programa Microsoft Excel, que permite analizar los datos obtenidos según sus características y temporalidad, en este caso, es de prioridad disponer el valor del kilometraje recorrido de cada vehículo con su respectivo número de placa o registro para así poder identificarlo a lo largo del proceso.

El procedimiento para obtener el valor de kilometraje recorrido consiste en tomar el año de interés de análisis (2019) y el año anterior a este (2018), realizar una comparación entre los datos de kilometraje para un mismo vehículo y determinar la cantidad de kilómetros recorridos por ese vehículo para el año 2019. La comparación se realizó a través de la función BUSCARV de Excel, la cual nos permite encontrar un valor en una columna de datos específica, en este caso se mantiene como base los valores del kilometraje registrados en el 2019 y se inicia la búsqueda de cada vehículo (a través de su número de placa) en la base de datos del 2018, de esta manera se referencia y copia el valor del kilometraje requerido y se asigna a la fila que comparte la información de placa similar.

Este procedimiento se replica en todos los vehículos registrados, sin embargo, cabe recalcar que solo se trabaja con el número de vehículo cuyas placas coinciden tanto para el registro del 2018 como del 2019, en este caso con un total de 22377 vehículos, es decir con el 4.75% de los datos reales del 2019. Por ende, se analiza una muestra representativa

de vehículos que abarca las características compartidas de la actividad vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito, para lo cual es necesario añadir un paso final al procedimiento donde se extrapolan los resultados obtenidos al total registrado en el 2019.

La extrapolación de los resultados de la muestra al valor real de vehículos registrados en el 2019 se realiza a través de la proporción del número de vehículos para cada tipo, los cuales se relacionan con el del valor de 471493 realmente aprobados en el 2019. Finalmente se trabaja con esta estimación, que representaría más de cerca la densidad vehicular del DMQ existente en el 2019. Con estos resultados globales es posible realizar comparativas y enlazar la información adicional del tipo y subtipo de vehículo y en caso de ser necesaria, su dependencia a servicios de transporte públicos, para de esta manera caracterizar la actividad vehicular. Esta clasificación puede ser de gran importancia investigativa, ya que se pueden motivar estudios adicionales respecto al estado de operación en el que circulan los vehículos, la existencia de servicios de transporte informal, la diferencia de servicio entre cooperativas de buses y taxis según el récord de distancia recorrida, entre otros.

2.2.3 Determinación de las condiciones de operación

La actividad vehicular se encuentra ligada al modo de conducción y la cantidad de vehículos en el área de estudio, para ello es necesario analizar parámetros que condicionan la actividad vehicular como los patrones de velocidad ligados a la topografía y las zonas de mayor concurrencia.

Topografía y altitud

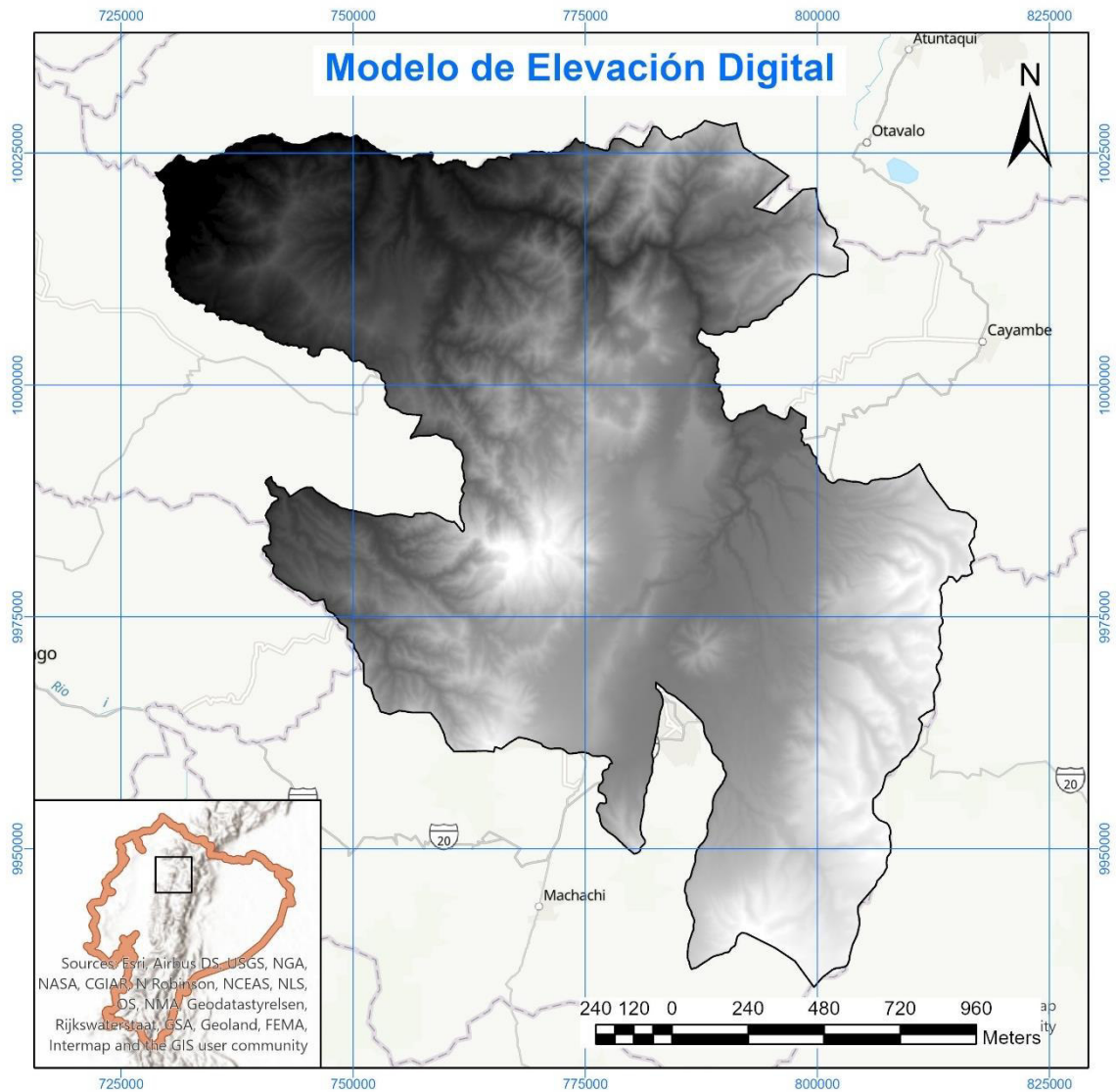
Las condiciones de operación se ven afectados por factores naturales como la altura, topografía, localización geográfica y actividad volcánica del DMQ, las cuales aumentan la vulnerabilidad en cuanto a contaminación atmosférica (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011). El relieve y la geomorfología del Distrito Metropolitano de Quito dificulta en mayor medida al correcto desarrollo de la circulación de vehículos en las redes viales, así como en la dispersión de los contaminantes emitidos por los mismos, por lo cual se ha determinado que es de gran importancia destinar parte del estudio a comprender como afecta la topografía y la altitud en la operación vehicular.

Para el análisis de influencia de la topografía y la altitud en el estudio de emisiones vehiculares, es necesario crear un mapa de altitudes. Esto se desarrolla a partir de un archivo de Modelo de elevación digital obtenido de la base de datos libre de Marc Souris a través de la página web savgis.org. El DEM obtenido está conformado por un conjunto de rasters

que abarcan la zona del DMQ, cada ráster posee un área de 800x800 píxeles con una resolución de 50m por píxel, como se muestra en la Figura 13.

Figura 13.

Modelo de elevación digital empleado para el análisis gráfico de altitudes para el DMQ.



A partir de este modelo y el polígono que delimita el territorio del DMQ es posible conseguir un mapa topográfico o de elevación, empleando las herramientas de la caja de herramientas del software ArcGIS Pro, como “clip raster”, “reclass”, “dissolve”, entre otros.

Condiciones de tráfico

El congestionamiento vehicular presenta muchos puntos negativos: la pérdida de tiempo en viajes, el incremento de accidentes, el consumo adicional de combustible, el desgaste de las vías y el incremento de contaminación al aire (Ashhad et al., 2020), son algunos de

ellos. Analizar patrones de tráfico para la zona de estudio nos permite estimar el flujo vehicular y determinar las zonas de concurrencia vehicular masiva, donde la condición de operación de los vehículos se ve afectada debido a los constantes eventos de arranque y parada. Esto, como ya se explicó anteriormente, ocasiona una mayor cantidad de emisiones vehiculares contaminantes dada la exigencia del vehículo para satisfacer la demanda de respuesta instantánea.

La obtención de un mapa de tráfico para el presente trabajo es de gran utilidad al momento de plantear rutas típicas para vehículos particulares, ya que al tratarse de vehículos que no poseen rutas específicas determinadas, se ven inmersas en la demanda de flujo común del DMQ, el cual se representa por las horas pico y las calles de mayor concurrencia vehicular. Tomando a consideración que las horas pico se refiere a aquellos horarios en donde existe una mayor congestión o intensidad de tráfico, para el 2019 el tráfico se concentra en el horario de 6h00 – 9h00 de la mañana y 16h00 – 17h30 en la tarde/noche. Los taxis también se acoplan a esta demanda, ya que la concurrencia vehicular generalmente está acompañada de la concurrencia de personas, las cuales buscan un medio de transporte alternativo que les permita llegar a tiempo a los lugares de destino en caso de no poseer un vehículo privado.

El mapa de tráfico empleado en este estudio se basa en los resultados obtenidos por Cadena & Endara (2021) adjuntos en el Anexo II, generado a partir del conteo vehicular en las avenidas y calles principales realizado por la Secretaría de Movilidad para el año 2019. Este mapa fue recreado a partir de los archivos raster compartidos por los autores en formato .tif, los cuales poseen una malla de pixeles que recorren las principales avenidas y calles del DMQ representando la cantidad promedio de vehículos que circularon en el año 2019. Se realiza un post tratamiento al mapa recreado, donde el número de vehículos es reclasificado a través de la herramienta “reclass” del toolbox de ArcGIS Pro, de esta manera se caracteriza al total de vehículos en 7 subcategorías que especifican intervalos nuevos, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5.

Intervalos redefinidos a partir del rango de vehículos que circulan por las principales avenidas de Quito

Intervalo	Número de vehículos
1	0 - 3573829
2	3573829 - 14311349
3	14311349 - 25048870
4	25048870 - 35786390
5	35786390 - 46523911
6	46523911 - 57261431
7	57261431 - 67998952

Elaboración propia

2.2.4 Determinación de rutas típicas

La selección de rutas delimita el estudio de la actividad vehicular a una muestra en particular que represente la zona de conflicto en la circulación de vehículos, esto permite extrapolar las condiciones de operación que se presentan durante el recorrido y determinar de mejor manera los factores que inciden en el correcto funcionamiento del vehículo y el nivel de sus emisiones contaminantes.

Para determinar una ruta de transporte que represente de manera adecuada la actividad vehicular que se busca en este estudio, es necesario tomar en cuenta las siguientes condiciones:

- Puntos de mayor congestión o tráfico vehicular en el mapa del DMQ
- Avenidas o calles por las que circulan un mayor número de vehículos
- Zonas con pendientes pronunciadas o relieves accidentados
- Horas pico o de mayor congestión vehicular
- Mayor número de pasajeros a bordo

Se busca establecer una ruta representativa para los tipos de vehículos de mayor concurrencia en el DMQ, como son los taxis, buses y autos particulares, para ello se plantean los siguientes procedimientos:

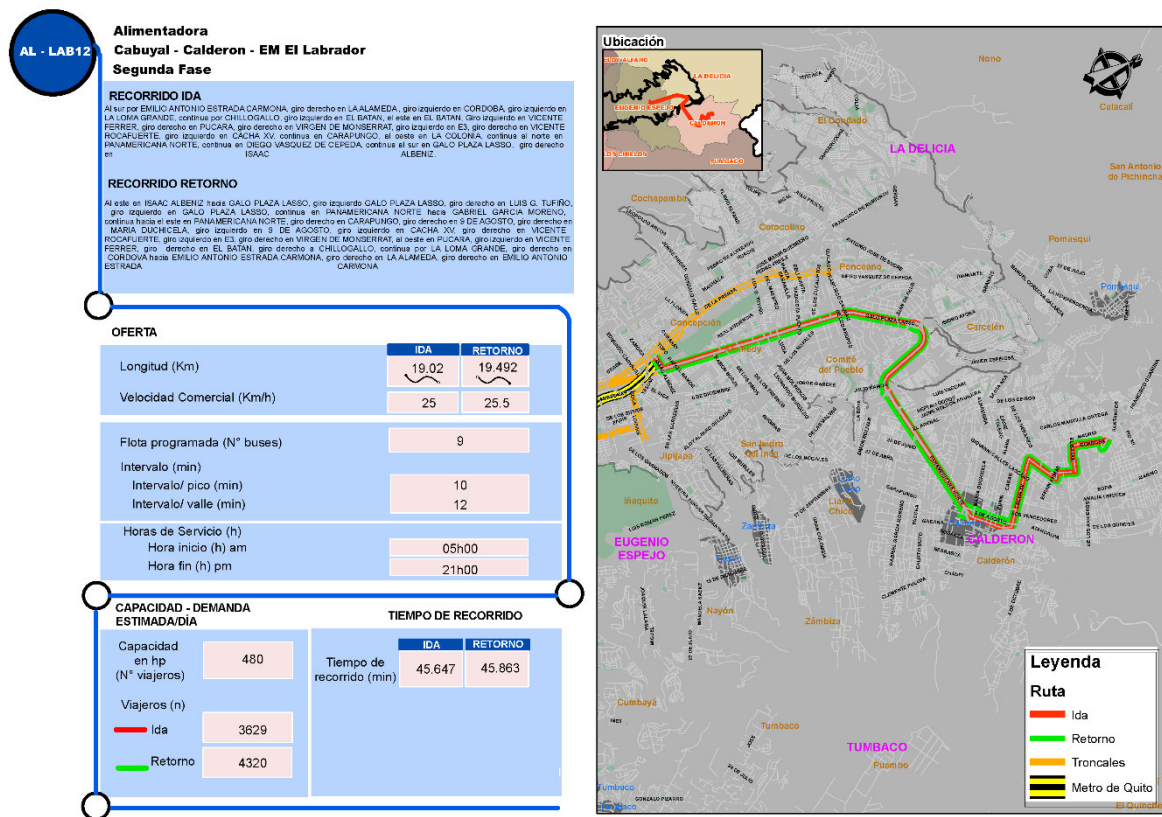
Buses

La determinación de una ruta representativa para buses depende del análisis general de las líneas de buses disponibles en el DMQ, para ello es necesario conocer la información típica de recorrido como el horario de atención, el número de recorridos que realiza al día, la distancia de recorrido, entre otros.

La base de datos empleada para construir el mapa con los recorridos de transporte público en el DMQ se obtiene a partir de la Secretaría de Movilidad. La página oficial contiene un repositorio relacionado con el concurso de rutas, donde se encuentran almacenada la información respecto a las rutas de transporte público. Cada grupo se ve ligado a una zona de concurrencia reconocida de la ciudad como el Centro Histórico o la Mitad del Mundo, y contiene la información de cada línea de bus que atraviesa la zona determinada como se detalla a manera de ejemplo, en la ficha de ruta de la Figura 14.

Figura 14.

Ficha de ruta relacionada a la línea de bus AL-LAB12 que recorre las paradas del Cabuyal, Calderón y el Labrador.



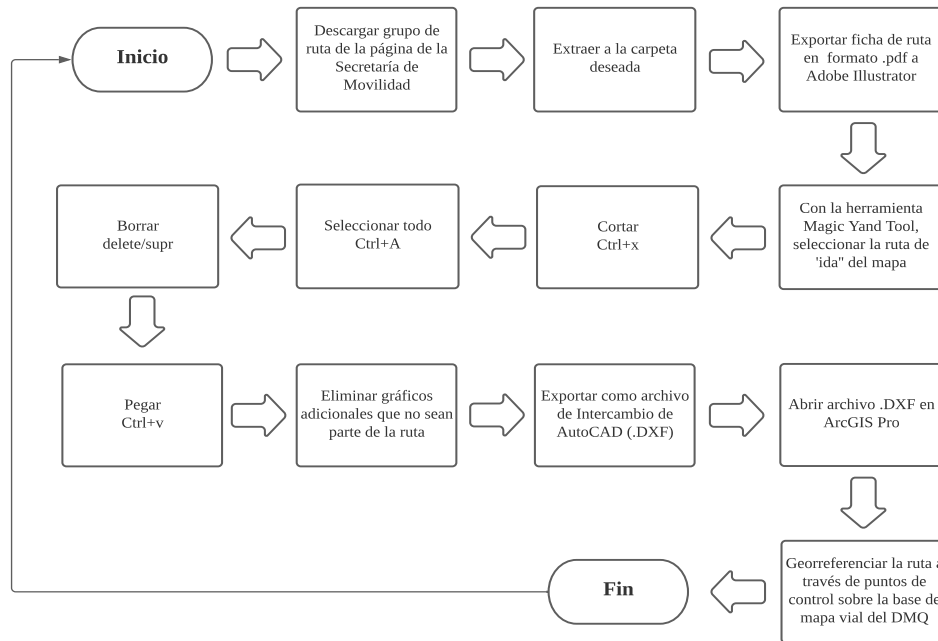
Fuente: Secretaría de Movilidad

Como se puede observar, cada ficha posee información relevante muy necesaria para analizar la afectación de los parámetros en el funcionamiento vehicular de cada medio de transporte público, como el tiempo de operación según los horarios de servicio, el tiempo de recorrido tanto de ida como de regreso, la estimación del número de pasajeros a bordo, el número de unidades de trabajo al día, la distancia de recorrido tanto de ida como de regreso y una representación gráfica de la ruta de ida y retorno sobre un plano de navegación de la zona de interés de Quito. Además, cada ficha posee el código representativo de la línea de bus analizada y una descripción breve de los sectores y calles que recorre cada unidad hasta sus paradas finales. Con esta información es posible analizar las calles con mayor concurrencia de transporte público, horarios de congestionamiento vehicular y tramos de recorrido con mayor número de pasajeros, para de esta forma establecer una ruta representativa donde figure una mayor actividad vehicular.

Para conseguir el mapa con todas las rutas de buses del DMQ, es necesario repetir un procedimiento particular con cada ficha de ruta hasta lograr su exportación como archivo shapefile. Para ello es necesario emplear dos softwares: Adobe Illustrator y ArcGIS Pro. En este caso se emplea la versión 24.1.2. de Adobe Illustrator donde se exporta la ficha de ruta en formato .pdf con el objetivo de disociar la línea gráfica que representa la ruta de ida del bus que se esté analizando, posteriormente se exporta como archivo .DXF para luego abrirlo en ArcGIS Pro y a través de la georreferenciación tomando puntos de control, ubicarlo en el punto inicial y final de la ruta, donde gráficamente se visualice las calles que recorre sobre el mapa base de vías. Este proceso se repite con cada una de las fichas de ruta, para de esta manera poder visualizar de forma general las calles con mayor flujo de buses en Quito y establecer de esta manera, la ruta típica representativa.

Figura 15.

Flujograma del procedimiento para la creación del mapa de rutas para buses en el DMQ.



Elaboración propia

Taxis

La determinación de una ruta típica para los taxis se basa en el mapa de tráfico obtenido anteriormente. Se analizan las zonas de mayor concurrencia de personas, como centros comerciales, zonas turísticas, oficinas, etc., donde se refleja un mayor uso del servicio de taxis y se complementa con la información obtenida de encuestas realizadas a los conductores de taxis de distintas cooperativas, las cuales se encuentran adjuntas en el Anexo I.

De esta manera se recoge toda la información necesaria para el análisis de los factores de operación en la actividad vehicular de los taxis y se establece la ruta típica que represente el recorrido común de este medio de transporte en el DMQ.

Autos particulares

Los autos particulares también se rigen a las condiciones de tráfico establecidas en el mapa de tráfico, para lo cual se analiza indistintamente una de las avenidas con mayor congestión vehicular dentro de un horario determinado en horas pico. Existen varias alternativas de rutas para los autos particulares, ya que estos no presentan rutas definidas de constante circulación ni condiciones de operación fácilmente predecibles, lo cual dificulta en gran medida extrapolar la actividad vehicular de los particulares en todos los casos.

3 RESULTADOS

Para la obtención de resultados fiables, cabe mencionar que se realizó inicialmente una depuración y un tratamiento de datos extenuante a las bases de datos proporcionadas por la AMT, donde se trabajó con las celdas que presentaban valores negativos, celdas vacías, kilometrajes nulos y placas repetidas.

3.1 Análisis del kilometraje recorrido por vehículo (KRV)

Tabla 6.

Resultados del kilometraje total recorrido por vehículo de la muestra para el año 2019

Placa	Año de fabricación	Tipo	Subtipo	Clase	Subclase	Kilometraje 2018	Kilometraje 2019	Kilometraje recorrido (KRV)
AAA1552	2012	PESADOS	CARGA			474878	541738	66860
AAA1552	2012	PESADOS	CARGA			503564	542087	38523
AAA2020	2013	PESADOS	FURGONETA PESADA	ESCOLAR	FURGONETA ESCOLAR RTE041	218292	229208	10916
AAA2020	2013	PESADOS	FURGONETA PESADA	ESCOLAR	FURGONETA ESCOLAR RTE041	218292	229443	11151
AAA2087	2012	LIVIANO	AUTOMOVIL 4 TIEMPOS	TAXI	TAXI CONVENCIONAL EPMMOP	342220	383269	41049

La Tabla 6, muestra una parte de la estructura final de la base de datos tratada que contiene el valor del kilometraje recorrido por vehículo tras la comparación diferencial del valor registrado en el 2018 y 2019. El valor del kilometraje recorrido varía según el tipo de vehículo analizado y la actividad que realiza; esto se podrá justificar más adelante. Además, se puede observar que la base de datos final mantiene datos relevantes adicionales al número de placa como el año de fabricación, tipo, subtipo, clase y subclase del vehículo, todas ligadas a los valores de la muestra.

Tabla 7.

Extrapolación de los resultados de la muestra al total de vehículos registrados en el 2019 y cálculo de KRV.

Tipo de vehículo	Número de vehículos de la muestra 2019	%	Número de vehículos totales 2019	Promedio de kilometraje [km]	Kilómetros recorridos totales [km]
Automóvil particular	11'547	51.60	243'300	18'114	4'407'120'124
Taxi	1'132	5.06	23'852	60'054	1'432'385'810
Bus	251	1.12	5'289	83'479	441'493'449
Camioneta	2'325	10.39	48'989	25'398	1'244'192'404
Carga	1'464	6.54	30'847	36'829	1'136'056'410
Furgoneta	659	2.94	13'885	33'755	468'696'259
Furgoneta pesada	43	0.19	906	26'120	23'665'780
Híbrido	154	0.69	3'245	12'239	39'712'724
Microbus	80	0.36	1'686	86'071	145'083'919
Minibus	18	0.08	379	59'132	22'426'838
Motocicletas	4'704	21.02	99'115	7'091	702'780'681
	22'377		471'493		

En la Tabla 7 se puede observar los resultados de la estimación de la muestra al total donde a partir del porcentaje establecido según el número de vehículos de la muestra, se extrapola al total de 471493 vehículos registrados del 2019, de los cuales se obtiene el número de vehículos y el valor de kilometraje recorrido total para cada tipo de vehículo. Según los resultados obtenidos, el automóvil de 4 tiempos es el vehículo con mayor recorrido alcanzando un valor de 4'407'120'124 km/año por vehículos. Esto representa el 51.60% del kilometraje total del 2019, por lo que es fácilmente destacable que los automóviles de 4 tiempos suman la mayor cantidad de kilómetros recorridos en la ciudad.

A partir de este punto se trabaja con los resultados estimados de la extrapolación del total de la muestra al total general registrado del 2019.

Tabla 8.

Número de vehículos según su tipo y año de fabricación en el DMQ 2019

Año de fabricación	Automóvil	Bus	Camioneta	Carga	Furgoneta	Furgoneta pesada	Híbrido	Microbús	minibús	Motocicletas	Total general
<1984	4741	0	1875	42	42	0	0	0	0	232	6932
1985	611	0	42	0	0	0	0	0	0	21	674
1986	548	0	105	21	0	0	0	0	0	21	695
1987	485	0	126	0	0	0	0	0	0	21	632
1988	379	0	84	0	0	0	0	0	0	21	485
1989	969	0	84	0	0	0	0	0	0	21	1075
1990	1117	0	274	42	0	0	0	0	0	105	1538
1991	1728	0	358	0	0	0	0	0	0	126	2212
1992	2866	0	1096	0	105	0	0	0	0	0	4067
1993	2929	0	927	0	63	0	0	0	0	105	4024
1994	4067	0	1180	63	211	0	0	0	0	274	5794
1995	3477	0	759	0	105	0	0	0	0	126	4467
1996	2845	0	822	0	63	0	0	0	0	147	3877
1997	3540	0	822	0	42	0	0	0	0	84	4488
1998	4678	21	1201	126	84	0	0	0	0	169	6279
1999	2992	0	1117	211	253	0	0	0	0	211	4783
2000	421	42	253	42	0	0	0	0	0	105	864
2001	4446	0	1559	211	63	0	0	0	0	253	6532
2002	8407	105	1938	843	274	0	0	0	0	801	12368
2003	8344	84	1854	295	400	42	0	42	0	1117	12179
2004	7122	42	2023	442	548	0	0	0	0	1896	12073
2005	11589	105	2044	1032	801	42	0	63	0	2023	17699
2006	12516	211	2297	1222	147	0	0	105	0	2297	18795
2007	14834	105	2845	1896	358	0	0	42	0	3582	23662
2008	12284	190	2528	1517	442	0	0	42	0	5162	22166
2009	16561	232	3097	2170	822	0	358	42	0	7501	30784
2010	15613	147	3118	1370	464	0	1138	0	42	9440	31332
2011	23451	316	3582	1854	1201	0	337	42	0	14159	44943
2012	21787	211	2950	1981	1412	0	169	42	0	25158	44943
2013	21976	295	3751	4341	1327	105	548	316	0	13675	46334
2014	21091	295	1728	2802	737	63	126	253	0	5078	32175
2015	19448	464	1601	3139	590	105	421	169	0	3203	29140
2016	4172	611	569	1538	716	84	147	400	0	1580	9819
2017	1222	337	63	569	506	147	0	21	42	169	3076
2018	3013	864	232	2318	464	42	0	105	232	211	7480
2019	885	611	84	759	1643	274	0	0	63	21	4341
Total general	267152	5289	48989	30847	13885	906	3245	1686	379	99115	471493

La Tabla 8 presenta el número de vehículos registrados en la muestra según el tipo y año de fabricación. En este caso, la clasificación comienza con los vehículos clásicos; la Agencia Nacional de Tránsito define a un auto clásico a aquel que posee más de 35 años de antigüedad contados desde su fabricación (Agencia Nacional de Tránsito, 2014). Dado que el año base considerado es el 2019, los autos clásicos se catalogan a aquellos que hayan sido fabricados años atrás al 1984. En este caso, el año de fabricación condiciona completamente la operación de un vehículo.

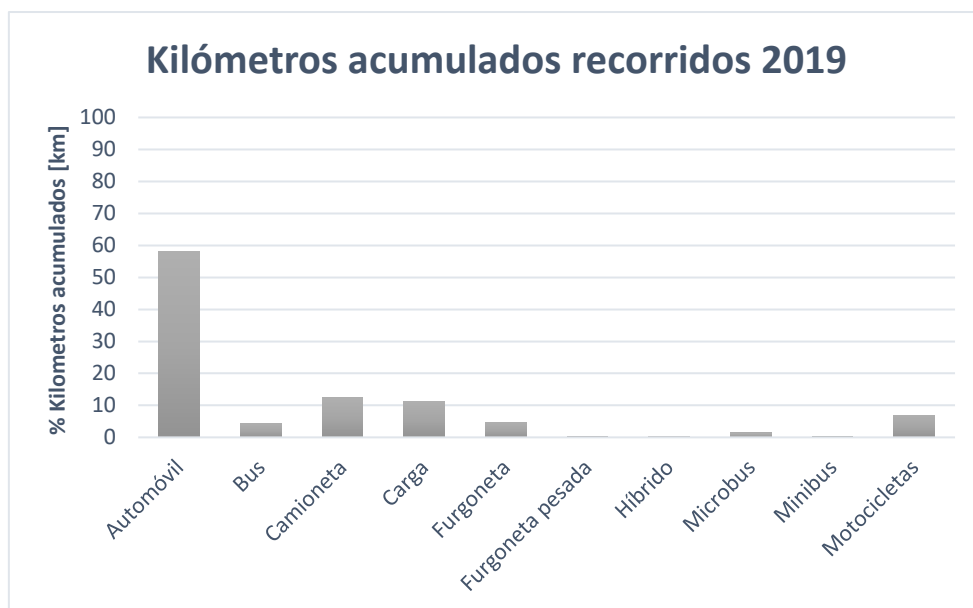
Un automóvil del año 1984 no desarrolla de la misma forma que un moderno, ya que su estructura, materiales y mecánica vehicular inciden en la potencia de trabajo, por lo que subir las pendientes de Quito sugieren una labor considerablemente más compleja para los vehículos antiguos; aun así, en el DMQ para el año 2019 se mantuvieron en circulación 225 vehículos fabricados en el año 1984 o anteriores a este. Debido a la limitación de información en la base de datos provista no es posible determinar a que marca corresponden estos vehículos, sin embargo, se puede inferir que estos vehículos en su mayoría pertenecen a personas con posibilidades económicas que tienden a coleccionar vehículos clásicos de marcas especiales, ya que los costos de mantenimiento y repuestos en la actualidad son bastante elevados.

Según el análisis del año en cuestión, los vehículos que predominaron en el 2019 corresponden a aquellos fabricados en el 2012 con un total de 2549 vehículos, de los cuales 1194 son motos. Las cifras de motos matriculadas han incrementado significativamente desde el 2008 según registros del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) (INEC, 2020). La facilidad de movilización, el ahorro económico y la oportunidad de generar empleo han sido características destacables que han impulsado a los quiteños a optar por este tipo de vehículo.

La Tabla 8 también nos permite observar que, de todos los vehículos fabricados en el año 2019, las furgonetas poseen una cifra mayor en el registro. El aumento de la demanda de estos vehículos puede deberse a la necesidad de un vehículo más espacioso que permita transportar un mayor grupo de personas o material de carga desde un punto específico a otro. Estos vehículos generalmente trabajan como recorridos escolares, institucionales e incluso brindando un servicio de transporte sin permisos oficiales en el cual movilizan a personas desde un punto conflictivo de la ciudad a otro, como por ejemplo las furgonetas que transportan a los usuarios desde la Villaflora a la Forestal.

Figura 16.

Acumulación de kilómetros recorridos por tipo de vehículo en el DMQ 2019



La Figura 16 evidencia la proporción de kilómetros recorridos acumulados por tipo de vehículo donde se establece nuevamente que el automóvil de 4 tiempos fue el que mayor distancia recorrió a lo largo de las calles y vías del DMQ. Además de las camionetas y los vehículos destinados a carga que sumaron una cantidad considerable de kilómetros, sin embargo, no alcanzan ni el 41 % del aporte de los vehículos.

Tabla 9.

Cantidad de vehículos 4 tiempos en el DMQ 2019

Automóvil 4 tiempos		
Particular	243'300	91%
Taxi	23'852	9%
Total general	267152	100%

Los automóviles de 4 tiempos que recorren el DMQ se dividen en dos grupos: los taxis y los particulares. Como se puede observar en la Tabla 9, los vehículos particulares registrados representan el 91 % de los automóviles, destacando la presencia de este tipo de vehículos sobre los que prestan servicio. El crecimiento del parque automotor cada año se eleva por la adquisición progresiva de nuevos vehículos particulares, esto también se puede comprobar en la Tabla 8 donde se observa un aumento en la fabricación de automóviles de 4 tiempos sobretodo a partir del año 2011.

Existen muchos factores que inciden en la decisión de adquirir un automóvil propio, principalmente debido al crecimiento poblacional. El incremento demográfico en la zona acompañada de la carencia en la administración pública intensifica las necesidades de la población, entre ellas la movilidad. Esto se traduce directamente a un crecimiento desmedido del parque vehicular y un aumento de viajes que sitúan a las vías de Quito en condiciones de saturación, provocando congestiones en el tráfico vehicular. Además, la baja calidad del servicio de transporte público y su limitada oferta empuja a los quiteños a optar por vehículos particulares que les faciliten llegar a sus puntos de destino de manera más cómoda. Es muy evidente que la escasa planificación urbana y las características viales no son de aporte en esta problemática, ya que mientras el DMQ se siga expandiendo el tema de la movilización será cada más conflictivo.

3.2 Caracterización vehicular

A diferencia de la estructura del sistema de transporte detallado en el Plan de Movilidad del Distrito Metropolitano de Quito, la caracterización obtenida a partir de las bases de datos proporcionadas por la AMT para el año 2018 y 2019 se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10.

Caracterización vehicular en función del índice KRV para el DMQ 2019.

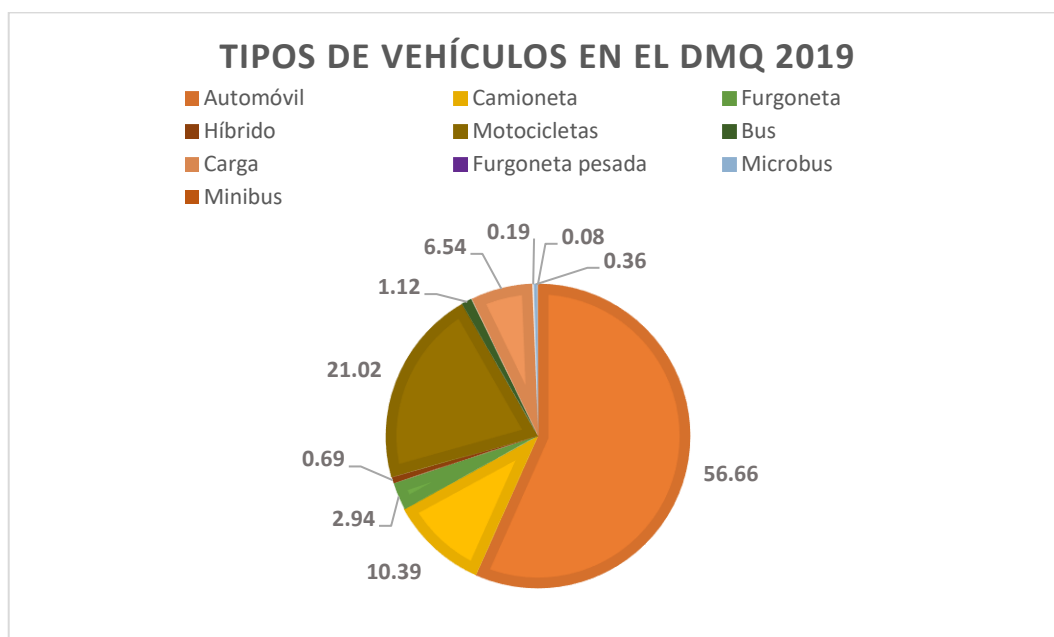
Tipo de vehículo	Total de vehículos	Porcentaje [%]
LIVIANO		
Automóvil	267152	70.68
Camioneta	48989	
Furgoneta	13885	
Híbrido	3245	
OTROS		
Motocicletas	99115	21.02
PESADOS		
Bus	5289	8.29
Carga	30847	
Furgoneta pesada	906	
Microbus	1686	
Minibus	379	
Total general	471493	100.00

Como se puede observar en la Tabla 10, los automóviles, camionetas, furgonetas y vehículos híbridos entran en la categoría de vehículos livianos conformando el 70.68% del total;

las motos corresponden a la categoría de otros ya que no recogen las características necesarias para caracterizarse como vehículos pesados o livianos y conforman el 21.02 % del total; y finalmente los buses, vehículos de carga, furgonetas pesadas, microbuses y minibuses que se encuentran en la categoría de pesados, los cuales conforman el 8.29 % del total.

Figura 17.

Tipos de vehículos registrados en la muestra DMQ 2019



Tras la comparación general de los tipos de vehículos, se puede comprobar que el automóvil de 4 tiempos se mantiene en mayor cantidad frente al resto con un porcentaje del 56.66 %. Anteriormente se corroboró que el automóvil era el vehículo con más kilómetros recorridos para el año 2019, este dato va de la mano con el presentado en la Figura 17, ya que el número de automóviles y la distancia recorrida son directamente proporcionales representando la congestión vehicular en el DMQ. En cuanto a cantidad, las motos continúan con un total de 4704 vehículos registrados que representa el 21.02 % del total. Las motocicletas junto a los automóviles conforman en su gran mayoría la categoría de vehículos particulares, por lo que se resalta nuevamente la gran utilidad prestada a este tipo de transporte para el diario vivir de los quiteños.

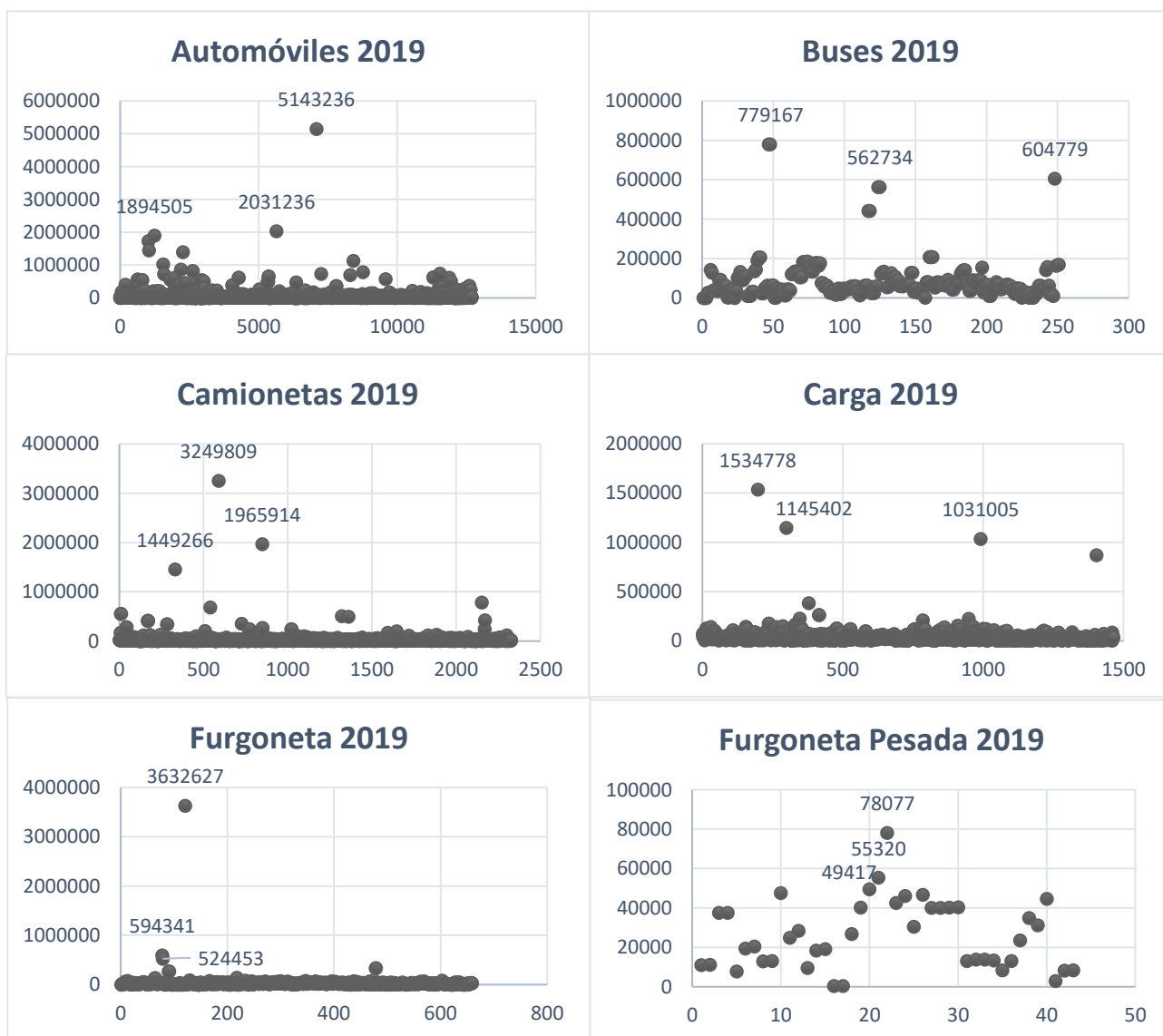
Por otro lado, se puede observar que los minibuses conjuntamente con las furgonetas pesadas representan el menor número de vehículos registrados en el 2019 con un porcentaje del 0.08 % y 0.19 % respectivamente. Estos vehículos principalmente se destinan al servi-

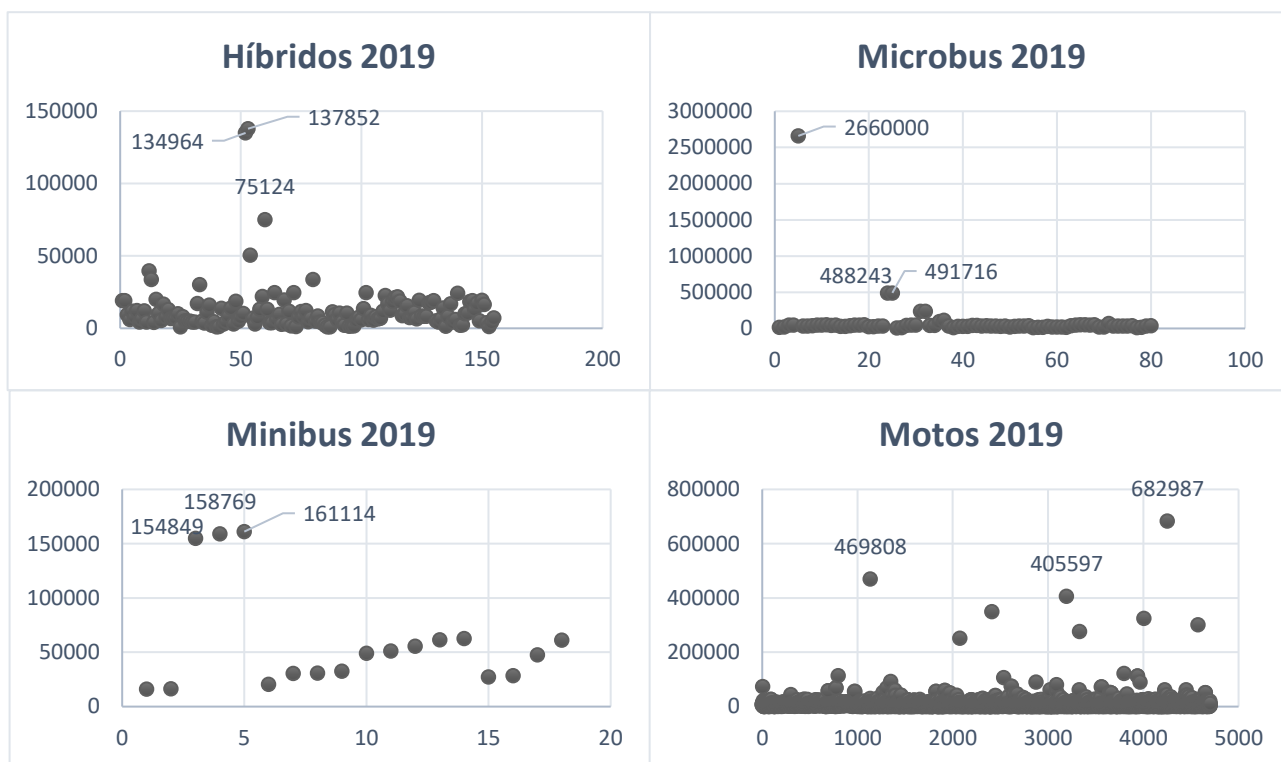
cio de recorrido escolar y transporte intra e interparroquial, sin embargo, han perdido utilidad con el tiempo, ya que la necesidad de llevar cada vez más cantidad de pasajeros por viaje vuelve prioritario el uso de vehículos más espaciosos, es por ello que para servicio de transporte de pasajeros se brinda mayor interés a los buses y ómnibuses biarticulados.

A continuación, se realiza un análisis particular para cada tipo de vehículo del DMQ registrado en la muestra del 2019, donde se establecen valores atípicos y se destacan a aquellos vehículos cuyo KRV supera el promedio.

Figura 18.

Gráficos de dispersión del valor de KRV para los distintos tipos de vehículos en el DMQ 2019.





En este caso se analizan los 3 valores de kilometraje más elevados para cada tipo de vehículo, se define su diferencia del resto de observaciones y se explican posibles causas del gran recorrido registrado.

Automóviles

En el caso de los automóviles, existe un valor que destaca sobre los demás perteneciente a un taxi del año 2009 registrado como convencional que trabaja para la zona urbana, rural y parroquial. La diferencia de kilometraje es muy superior a las demás, esto puede deberse al modo de operación con el que trabaja. Generalmente los taxistas se localizan en los puntos de salida respectivas a las cooperativas o compañías para las cual trabajan, sin embargo, dependiendo de la táctica del taxista, estos salen por las calles y recorren ciertas distancias hasta conseguir un pasajero que requiera del servicio, o a su vez trabajan con la metodología que ordena las aplicaciones de transporte como Uber, Didi, InDriver, etc.; en la cual la aplicación los conecta directamente con el cliente más cercano a su ubicación. Según el resultado de las encuestas la mayor cantidad de tiempo de un taxista espera entre carreras es de máximo 1 hora y el mínimo es de 5 minutos para quienes trabajan con aplicaciones.

El gran valor de kilometraje que tiene este taxi puede deberse a las siguientes causas:

- Horario de trabajo extendido

- No trabaja con aplicaciones y mantiene la metodología convencional, recorre una gran distancia hasta conseguir pasajeros
- Presta servicio de transporte particular bajo contrato
- El vehículo se emplea en viajes interprovinciales de necesidad propia del dueño

El vehículo siguiente corresponde a un taxi ejecutivo del año 2011 certificado por la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMMOP), que brinda servicio de viajes especiales a través del centro de llamadas. El elevado valor del kilometraje puede deberse a la demanda de trabajo que presenta este vehículo, así como similitudes en las causas antes mencionadas.

El valor inferior a este corresponde a un vehículo particular del año 2007. Las posibles causas para su elevado valor de recorrido en el 2019 son:

- Vehículo empleado para el traslado de productos o materia prima acorde a su capacidad
- Utilizado recurrentemente para viajes entre provincias o fuera del país
- Empleado para el servicio de transporte (taxi informal) de manera convencional o a través de aplicaciones móviles.

Las posibles causas mencionadas se justifican a través de las encuestas realizadas a taxistas de distintas compañías, las cuales se encuentran adjuntas en el Anexo 1.

Buses

En cuanto a los buses, en la Figura 18 es posible observar un distintivo grupo de vehículos que superan el promedio del KRV, entre ellos se tiene a un bus intercantonal del año 2009 el cual registra el valor de 779167 kilómetros recorridos para el 2019. La actividad de los buses es evidente, estos mantienen una movilización constante por la demanda de pasajeros que existe a diario, sobretodo a la zona centro y centro norte de la ciudad de Quito donde se concentra la mayoría de las actividades económicas y de producción. Sin embargo, el valor exagerado de este vehículo en particular puede estar ligado a actividades extras como:

- Contrataciones extra para transporte interprovincial
- Contrataciones particulares para viajes planificados dentro del país.
- Mayor tiempo de operación debido a la falta de unidades en la administración de la respectiva cooperativa o compañía.

El segundo y tercer vehículo corresponden buses de tipo urbano del año 2007 y 2012 respectivamente. El valor de kilometraje elevado que presentan puede deberse a causas similares a las mencionadas anteriormente; sin embargo, no está de más mencionar que estos valores atípicos pueden estar ligados a errores de registro en la base de datos.

Camionetas

En cuanto a las camionetas, es posible distinguir en la Figura 18, que existen tres valores predominantes con un índice de KRV elevado correspondientes a camionetas livianas del año 1993, 1997 y 2008 respectivamente. En la base de datos proporcionada existe un número de camionetas registradas como transporte de servicio por la Empresa Metropolitana de Servicios y Administración del Transporte (EMSAT), las cuales se encuentran ligadas a servicio de mudanzas, fletes y también transporte de pasajeros. Sin embargo, cabe mencionar que los vehículos a los que pertenecen estos elevados valores de KRV no se encuentran ligados a ningún registro de servicio de transporte por lo que las causas para el gran recorrido pueden ser:

- Ofrecimiento de servicio de mudanzas y fletes sin permiso municipal.
- Vehículo destinado al transporte de productos o materia prima de una pequeña industria o comercio.
- Vehículo destinado a realizar viajes entre provincias o fuera del país de manera constante

Carga

En el caso de los vehículos de carga, podemos observar el primer valor de 1534778 km recorridos en el 2019 correspondiente a un camión de carga pesado del año 2007. La segunda y tercera cifra de kilometraje no se encuentran tan distantes entre sí y ambos corresponden también a camiones de carga del año 2005 y 2015 respectivamente. Las causas de su recorrido están ligadas directamente a la labor que realizan, con posibles actividades extras como:

- Transporte interprovincial e intercantonal
- Horarios de trabajo extendidos
- Gran demanda de trabajo por parte de la empresa o cooperativa a la que pertenecen.

Furgoneta

En el caso de las furgonetas, es posible observar la existencia de un valor atípico bastante alejado del grupo de observaciones, las cuales en su mayoría se encuentran cercanas al valor promedio. En este caso, el vehículo corresponde a una furgoneta de tipo liviano del año 1994 con un KRV registrado de 3038286km/año, muy elevado para el resto de las observaciones. Cabe recalcar que en la base de datos no existe un registro que especifique si la furgoneta presta servicio para las áreas de turismo o escolar, por lo que las posibles causas de su extenso recorrido en el 2019 pueden ser las siguientes:

- Prestación de servicio informal para transporte de pasajeros ligado a una ruta extensa
- Vehículo empleado en el transporte de productos o materia prima para pequeña industria o comercio.
- Prestación de servicio de alquiler para viajes interprovinciales.

Furgoneta pesada

Según la Figura 18, los 3 vehículos con mayor valor de KRV se encuentran muy cercanos al grupo de observaciones general. Sin embargo, el primer y segundo vehículo con 78077 km y 55320 km de recorrido respectivamente corresponden a furgonetas escolares del año 2017, mientras que el tercer vehículo corresponde a una furgoneta escolar del año 2017. El destacable aumento en su recorrido puede deberse a los siguientes factores

- Transportes escolares que prestan servicio particular para grupos determinados
- Mayor longitud de recorrido en las rutas establecidas

Híbridos

En el caso de los vehículos híbridos existen dos valores que sobresalen del grupo de observaciones, el primero de 137852 km y el segundo de 134964 km al año, ambos fabricados en el año 2010. Estos valores son los más alejados del grupo de observaciones, sin embargo, existe un tercer vehículo que con 75124 km también se considera un dato atípico en este análisis, el cual fue elaborado en el 2015.

La presencia de vehículos híbridos a comparación de los automóviles convencionales es mucho menor en el DMQ debido a las desventajas que presenta: el costo inicial y de funcionamiento que exige este tipo de vehículo es mucho más elevado que un convencional; encontrar repuestos y un mecánico especializado en este tipo de vehículos es un gran reto

y no son los vehículos más eficientes en carretera debido a la menor potencia que presentan. A pesar del reducido número de vehículos híbridos registrados, el evidente aumento en el valor de KRV de los vehículos analizados puede deberse a las mismas causas mencionadas para automóviles de 4 tiempos, tomando en cuenta que estos últimos poseen una capacidad de recorrido mucho mayor que los híbridos.

Microbús

En el caso de los microbuses, se puede observar un valor de KRV que destaca sobre el resto con un recorrido de 2660000 km/año correspondiente a un microbus escolar del año 2005. El valor de KRV que presenta es muy elevado y esto puede estar ligado a las siguientes causas:

- Transporte escolar que presta servicio particular para grupos determinados.
- Horarios extendidos de trabajo
- Mayor longitud de recorrido en rutas establecidas.
- Contratación para viajes intercantonales e interprovinciales.

Los siguientes dos vehículos no se encuentran muy alejados del grupo de datos base ni de su promedio de recorrido por lo que la diferencia de distancia puede deberse a pequeñas variaciones en sus actividades que demanden un recorrido mayor a lo habitual.

Minibús

Existe un pequeño número de observaciones en cuanto al grupo de los minibuses, en el cual los 3 valores se encuentran muy próximos entre sí. Coincidentemente estos 3 vehículos corresponden a minibuses interparroquiales del año 2018, los cuales mantienen un recorrido sutilmente elevado al resto. Aparte de las actividades de transporte que realizan habitualmente, su aumento en el valor de KRV puede deberse a las causas mencionadas anteriormente:

- Prestación de servicio particular para grupos determinados.
- Horarios extendidos de trabajo
- Mayor longitud de recorrido en rutas establecidas.
- Contratación para viajes interprovinciales.

Motos

Las motos son el segundo grupo con mayor número de vehículos registrados, estos mantienen pocos valores atípicos fuera de la muestra. El valor que más resalta corresponde a una moto del año 2014, mientras que los dos siguientes valores corresponden a motos del año 2011 y 2013 respectivamente. Cabe recalcar que no existe un registro de información adicional para motocicletas donde se establezca la prestación de algún tipo de servicio aparte de la movilidad particular. Actualmente se conoce que las motocicletas han sido fuertemente adquiridas en los últimos años por la facilidad para movilizarse a través de la congestión de la ciudad además de las considerables ventajas que presentan en cuanto a precios de mantenimiento y combustible, sin embargo, estas también han brindado una posibilidad de empleo; por tanto, tomando en cuenta esos detalles, el elevado recorrido de estas motos en el 2019 pudo deberse a:

- Prestación de servicio para delivery a través de alguna compañía o aplicaciones móviles como UberEats, Glovo, Rappi, etc.
- Servicio de mensajería motorizada para empresas específicas.
- Entrega de servicios o productos a domicilio (emprendedores)

Hoy en día poseer una moto es un oficio y esto brinda alternativas de empleo en medio de la crisis laboral, más aún considero que sería pertinente que se mantenga un control a motos que realizan un servicio extra a la movilidad personal, ya que no se está prestando mayor atención a la emisión vehiculares que estos producen, así como el consumo de combustible y el considerable desgaste por uso que presenta su motor, que va de la mano con un mayor nivel de contaminación.

Vehículos de servicio registrados

Tabla 11.

Clasificación de taxis registrados en el 2019 para el DMQ.

Tipos de taxis	
Convencionales zona urbana y parroquias rurales	1264
Convencionales zona urbana y periférica	969
Taxi general	105
Taxi convencional EPMMOP	14391
Taxi ejecutivo EPMMOP	7122
Total general	23852

Como se puede observar en la Tabla 11, del total de 23852 taxis registrados en el base de datos de la RVT del 2019, 14391 de ellos corresponden a taxis convencionales regulados por la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMMOP), los cuales trabajan trasladando personas de un lugar a otro en el ámbito urbano autorizado para su respectiva operación, ya sea en zonas urbanas de las parroquias rurales, parroquias urbanas o en zonas urbanas periféricas (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011). Los taxis ejecutivos siguen a continuación con un número de 7122 vehículos registrados por la EPMMOP, como aquellos que trabajan en el traslado de personas a través de la petición del servicio del centro de llamadas, donde se autoriza el uso temporal de la vía pública y se controla su cobro a través de taxímetro (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011). El resto de los taxis se especifican para un ámbito urbano y existen 5 que no poseen registro adicional.

Tabla 12.

Clasificación de buses, microbuses y minibuses registrados en el 2019 para el DMQ.

Tipo	BUS	MICROBUS	MINIBUS	Total general
SIN REGISTRO				
SIN REGISTRO	737	63	0	801
CHIVAS				
CHIVAS	42	0	0	42
ESCOLAR				
BUS	464	0	0	464
BUS ESCOLAR RTE041	295	0	0	295
MICROBUS	0	190	0	190
MICROBUS ESCOLAR RTE 041	0	864	0	864
MINIBUS ESCOLAR RTE041	0	485	42	527
INTERCANTONAL (NE)				
BUS	358	0	0	358
INTERPARROQUIAL				
INTERPARROQUIAL MICROBUS	0	42	105	147
TIPO	253	0	0	253
INTERPROVINCIAL (NE)				
BUS	1032	0	0	1032
URBANO				
ARTICULADO	232	0	0	232
INTRAPARROQUIAL MICROBUS	0	42	63	105
MINIBUS	0	0	169	169
BUS TIPO	1875	0	0	1875
Total general	5289	1686	379	7354

En cuanto a servicio de transporte relacionado con buses, microbuses y minibuses, se puede observar en la Tabla 12 que existe una mayor cantidad de buses tipo urbano con un total de 1875 unidades. Además del transporte urbano el cual es de acceso libre, se tiene el servicio de transporte escolar el cual cuenta con una gran cantidad de vehículos, entre ellos microbuses escolares que se rigen a la normativa RTE INEN 041 para Vehículos de Transporte Escolar, donde se describen conceptos de valor y especificaciones técnica obligatorias para los vehículos cuya operación se destine al transporte escolar (INEN, 2013). De esta manera se evidencia que el transporte público urbano y el escolar son los servicios que predominan en el DMQ.

3.3. Tipo de combustible

Tabla 13.

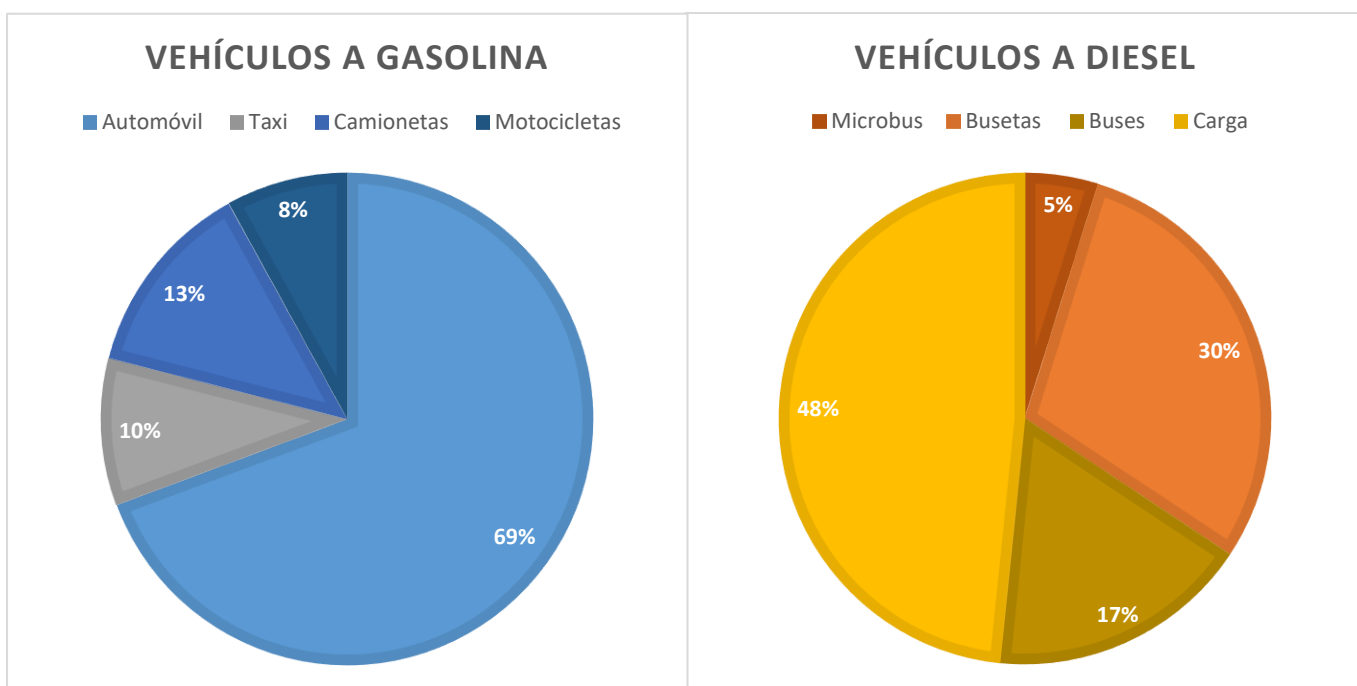
Tipo de combustible empleado por los vehículos del DMQ 2019.

Tipo de vehículo	Tipo de combustible	Total de vehículos 2019
Automóvil	gasolina	4656797
Taxi	gasolina	649707
Camionetas	gasolina	872400
Microbús	diésel	49368
Busetas	diésel	304657
Buses	diésel	178172
Carga	diésel	498842
Motocicletas	gasolina	537781

Como se puede observar en la Tabla 13, los registros del 2019 muestran el tipo de combustible empleado por los distintos tipos de vehículos, en el que se puede destacar el uso de la gasolina como principal combustible para los vehículos livianos, que en este caso son los automóviles, taxis, camionetas y motos y, por otro lado, los vehículos pesados como los buses, microbuses, busetas y camiones de carga que emplean principalmente el diesel.

Figura 19.

Uso de combustible según el tipo de vehículo en el DMQ 2019



En la Figura 19 se puede observar de mejor manera la distribución en el uso de combustible para los distintos vehículos del 2019. En el primer gráfico se puede destacar el uso de gasolina por parte de los automóviles a 4 tiempos con un porcentaje del 69%, es decir que este tipo de vehículos son los que mayor consumo de gasolina presentan a nivel del DMQ, lo cual se encuentra ligado a los resultados anteriores donde se pudo constatar la gran cantidad de automóviles registrados y el alto índice de KRV que estos presentan. El consumo de camionetas, taxis y motocicletas es de tan solo el 13, 10 y 8% restante, por lo que es evidente notar que el principal consumidor de gasolina en el Distrito Metropolitano de Quito es el automóvil particular, sin embargo, debido a la falta de registros no es posible discriminar si en este grupo de vehículos se encuentran implicados taxis informales que incrementen el uso de combustible.

En cuanto a vehículos pesados, es posible observar que los vehículos de carga conforman el 48% de consumo de diésel, lo cual es justificable dada la potencia que requiere este tipo de vehículos para cumplir con la actividad de carga, además de la cantidad de kilómetros recorridos ligada al transporte de insumos y productos de una provincia a otra; los constantes viajes y la exigencia del automotor demandan una mayor cantidad de combustible para una correcta operación. También es posible observar que las busetas consumen un

30% del diésel restante, lo cual se relaciona con su trabajo de recorrido, ya sea como transporte escolar o de turismo, local o regional; esto se traduce en una cantidad de kilómetros recorridos muy considerable. Finalmente, los buses y microbuses que son empleados en su mayoría para el transporte urbano de Quito consumen un 17 y 5% de diésel respectivamente.

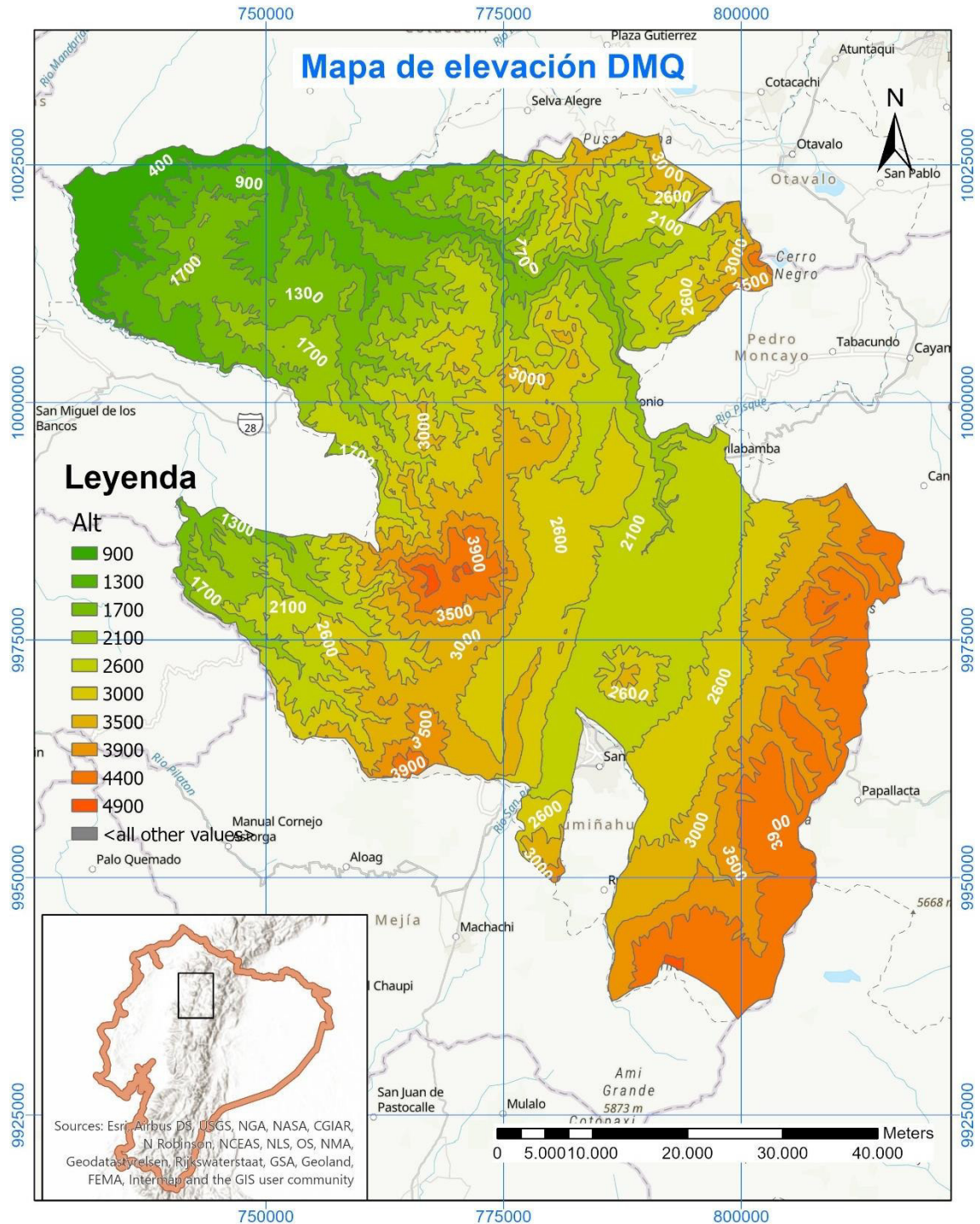
3.4 Rutas típicas

Como se mencionó en la metodología, la creación de rutas típicas son una gran herramienta al momento de evaluar emisiones vehiculares, ya que a través de estas es posible estudiar las condiciones de operación ligadas al medio. Para ello se determinó el mapa de elevación representado por las curvas de nivel de la zona del Distrito Metropolitano de Quito. Este mapa se consiguió gracias al Modelo de Elevación Digital mostrado en la Figura 13.

Mapa de elevación del DMQ

Figura 20.

Mapa de elevación del DMQ



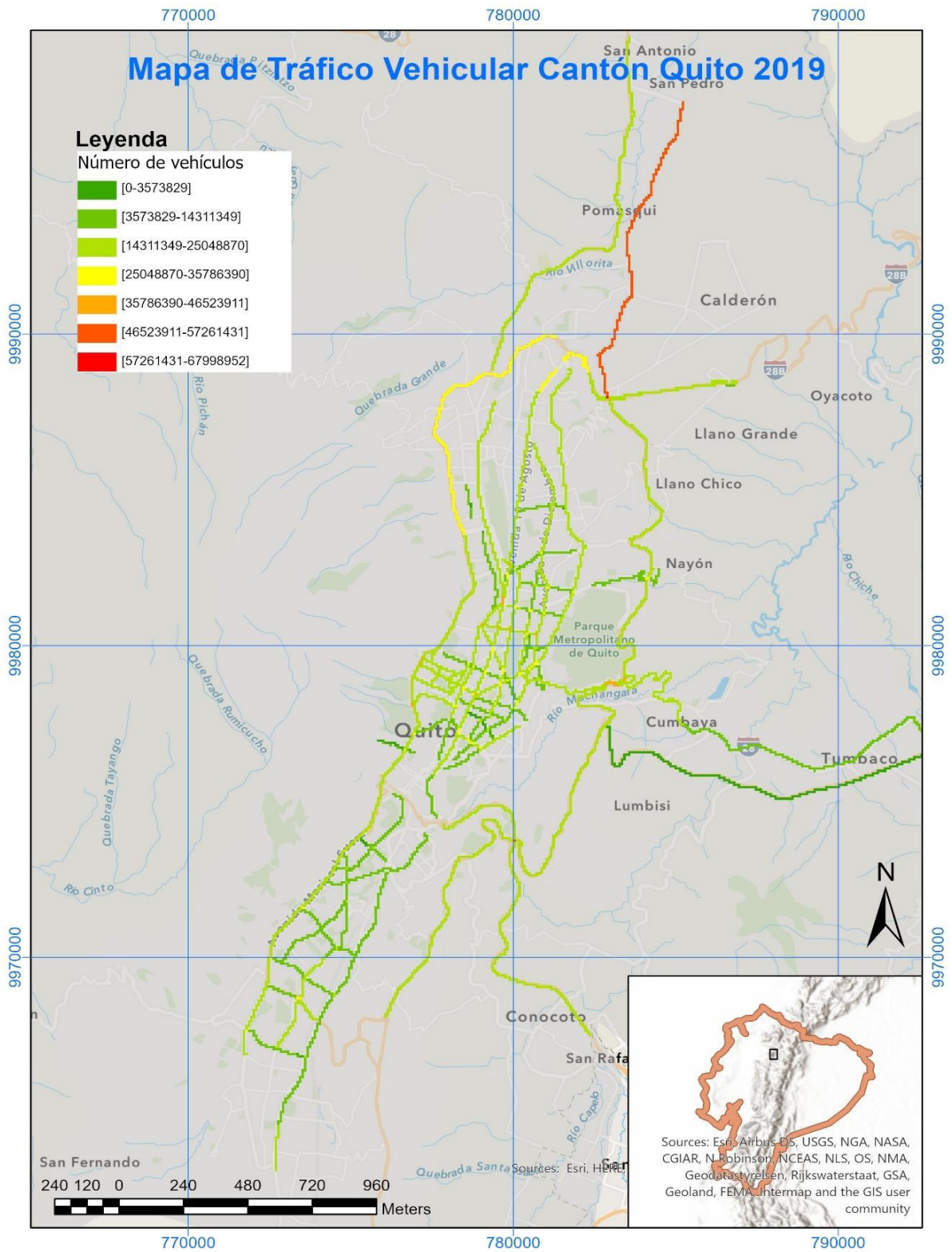
Analizar la topografía de la región permite tener un mayor enfoque al estudio de emisiones vehiculares, ya que los accidentes geográficos presentes tienen una gran participación en

las condiciones de operación de un vehículo. La serie de pendientes que presenta el territorio del DMQ exige un mayor trabajo al motor, a partir del cual surge un mayor consumo de combustible y por ende mayor contaminación al aire. Como se puede observar en la Figura 20, el Distrito Metropolitano de Quito se encuentra ubicado sobre un terreno irregular donde sus alturas oscilan entre valores de 900 y 4900 msnm. La ciudad de Quito se encuentra en su mayoría localizada en la cota de 2600 msnm, sin embargo, la constante necesidad de movilización de sus habitantes de la ciudad a los valles y viceversa, o a los distintos cantones rurales los obliga a atravesar irregularidades de terreno significativas que tan solo se podrían optimizar con el uso de un vehículo.

Mapa de Tráfico Vehicular Cantón Quito 2019

Figura 21.

Mapa de Tráfico Vehicular del Cantón Quito 2019

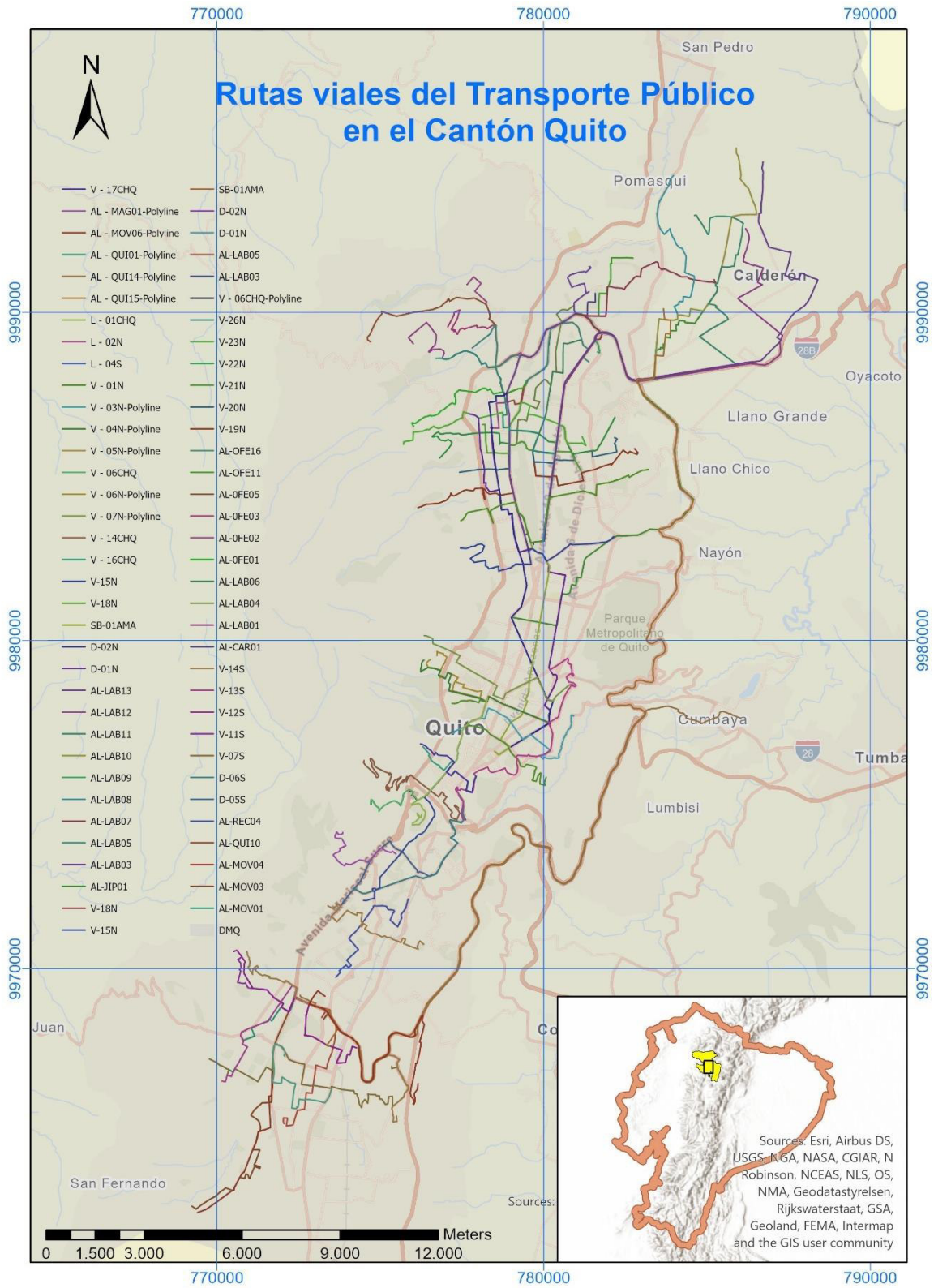


La Figura 21, muestra una recreación del mapa de tráfico vehicular de Quito elaborado por Cadena & Endara (2021), en el cual se pueden observar las principales avenidas y calles de la ciudad más concurridas. Esto se logró a partir del conteo de vehículos realizado por la Secretaría de Ambiente en el año 2019, mediante el cual se establecen las zonas de mayor concurrencia vehicular, como lo es la zona centro de la ciudad y Avenidas como la Simón Bolívar, Mariscal Sucre, Occidental, Naciones Unidas y la 10 de agosto, la Prensa y la Panamericana Norte, las cuales presentan mayor circulación vehicular con un conteo de 20 y 50 millones de vehículos al año.

A pesar del análisis limitado a un determinado número de calles, este mapa es de gran utilidad al momento de establecer rutas típicas, sobretodo para vehículos particulares, los cuales no mantienen una ruta definida ni horarios de operación establecidos.

Figura 22.

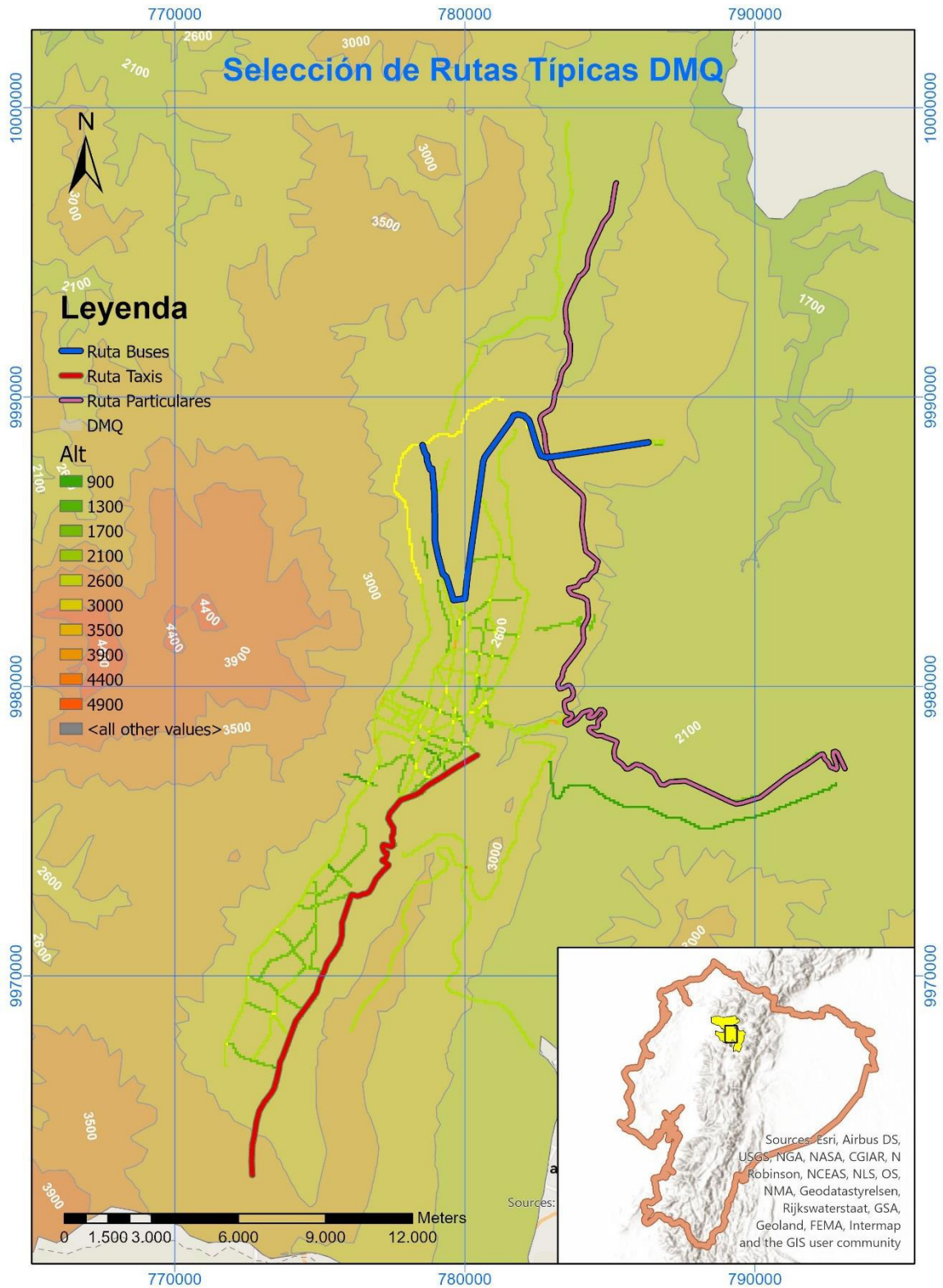
Mapa de rutas del Transporte Público en el DMQ.



El mapa presentado en la Figura 22 presenta una serie de rutas establecidas para distintas líneas de buses de transporte que recorren la ciudad de Quito, estas fueron compiladas a través de la creación de shapes de tipo polilínea que indican el recorrido establecido a través de las calles de la ciudad. Existen avenidas como la Panamericana Norte, la 10 de Agosto, 6 de Diciembre, Amazonas, Colón, 12 de Octubre, Napo en las cual coinciden hasta 15 rutas de buses, esto explicaría la congestión de transporte público que existe en estas calles. Este último dato es muy importante a la hora de escoger la ruta típica, ya que se busca establecer las vías con mayor conflicto para ser analizadas.

Figura 23.

Rutas típicas determinadas para buses, taxis y autos particulares



La Figura 23, muestra las tres rutas representativas escogidas para los 3 tipos de vehículos más conflictivos de Quito: los taxis, buses y autos particulares.

Autos particulares

Para determinar la ruta de autos particulares se analizó las zonas de mayor tráfico vehicular a partir del mapa de la Figura 21, ya que, al no conocer recorridos establecidos para autos particulares, es factible estimar rutas a partir de las calles que presentan mayor tránsito vehicular, en este caso la ruta inicia en una de las vías con menor conteo de vehículos y llega a la zona más concurrida en rojo. La ruta, además, atraviesa considerables ascensos y descensos en su recorrido por lo que es posible analizar como incide la topografía de la zona en la actividad vehicular. La ruta parte desde Tumbaco utilizando la avenida Inter-oceánica hasta llegar a la Simón Bolívar, este tramo se mantiene en la cota de 2100msnm, por lo que no existe mayor demanda de potencia para el automotor al subir pendientes prominentes, sin embargo, dado el flujo de estas avenidas es necesario que el vehículo avance a una velocidad no mayor a 90km/h. Si continuamos en la ruta por la Simón Bolívar a la altura del Parque Metropolitano de Quito, la pendiente aumenta y la ruta entra en la cota de 2600 msnm, en la cual la subida se exigen cambios de marcha para incrementar la potencia del motor, todo esto ligado a una mayor emisión de contaminantes tanto por el tubo de escape como por abrasión. El flujo vehicular se mantiene y la ruta continua en estas condiciones hasta llegar a la entrada de Pomasqui donde la cota vuelve a descender a 2100 msnm; la bajada fuerza reducciones de velocidad y uso de frenos, lo que desgasta progresivamente el sistema de frenado y emite contaminantes por abrasión. Finalmente, la ruta alcanza la zona norte del DMQ hasta San Pedro, donde si se ingresa al poblado y se estaciona, el repentino apagado consigue emisiones evaporativas. Esta ruta principalmente destaca la participación de las pendientes, la cantidad de vehículos en las principales vías y el cambio de velocidad en el vehículo.

Taxis

Para la ruta planteada de los taxis, se tomó en cuenta principalmente los resultados de las encuestas realizadas a los taxistas, adjuntas en el Anexo 1, quienes mencionaron el conflicto con el tráfico vehicular al momento de cruzar la ciudad de sur a norte a través de la avenida Napo, por lo cual se planteó esta ruta. Sin embargo, no está de más mencionar que la mayoría de taxistas dicen que prefieren trabajar en la zona norte de Quito, por la considerable facilidad de encontrar pasajeros y la realización de carreras más cortas que les generan mayor ganancia.

La ruta planteada comienza en el sur de Quito cercano al barrio Caupicho, desde la cota 3000 msnm, se toma la Avenida Pedro Vicente Maldonado y comienza su descenso hasta la cota 2600 msnm a la altura de Quitumbe. La ruta se mantiene por la Avenida Maldonado donde se producen constantes eventos de parada y arranque debido a la congestión vehicular. Al llegar a la Villaflora, la ruta toma la Avenida Napo, la cual ha sido muy destacada por los taxistas encuestados por el conflictivo tráfico que presenta la zona. En esta avenida es fácil comprobar la cantidad de emisiones vehiculares que se producen, no solo por taxis sino también particulares y buses. Continuando hacia el norte, se toma la Avenida Velasco Ibarra y se ingresa a la zona conocida como “El Trébol” en la cual se evidencia un gran número de vehículos circulando constantemente y problemas de congestión en horas pico. Se avanza a través de la calle Pichincha hacia la Avenida Gran Colombia y posteriormente la 12 de Octubre; en este punto las pendientes no se destacan ya que se mantiene en la cota 2600 msnm, sin embargo el principal causante de las emisiones contaminantes está ligado a los eventos de arranque y parada

Buses

En cuanto a los buses se plantea la ruta por donde atraviesan la mayor cantidad de buses registrados en las líneas de transporte para la zona norte. En este caso la ruta comienza en la calle Julián Quito cercano a la zona del Condado, en la cota de 2600 msnm, ingresa a la Avenida La Prensa hacia el sur atravesando una de las avenidas más concurridas de Quito, con constantes emisiones a la atmósfera ligadas a los eventos de arranque y parada por el tráfico vehicular. A la altura del Parque Bicentenario, se ingresa a la Avenida Amazonas y se cambia de sentido hacia la Avenida 10 de Agosto a través de la calle Isaac Albeniz (una de las calles más concurridas por buses), la altitud se mantiene constante y la ruta continua hacia el norte por la Avenida 10 de agosto hasta la Avenida Galo Plaza que ingresa al redondel para dirigirse a la vía Panamericana Norte hasta llegar a Carapungo. La ruta no presenta dificultad en cuanto a pendientes, sin embargo, el tráfico y la constante necesidad de parada de los buses por recoger y dejar a sus pasajeros, caracteriza a este tipo de vehículo como uno de los más conflictivos, ya que intensifica el tráfico vehicular en avenidas principales como las planteadas en ruta y también genera una mayor emisión de contaminantes a la atmósfera.

4 Conclusiones

- El Distrito Metropolitano de Quito se presenta como una zona bastante conflictiva para la movilización de vehículos, ya sea por sus condiciones topográficas, la falta de planificación urbana y el excesivo crecimiento del parque automotor; las condiciones en las que operan los vehículos son muy exigentes. La constante aceleración y desaceleración, eventos de freno y arranque continuos generan un mayor estrés en el motor lo cual promueve un mayor uso de combustible para suplir la demanda de potencia requerida y todo esto se traduce a mayores niveles de contaminación al aire.
- La emisión de contaminantes a la atmósfera por los vehículos del DMQ no solo están ligados al producto contaminante que se libera por el tubo de escape como consecuencia del proceso de combustión, sino también por emisiones evaporativas ligadas a los constantes cambios de estado del vehículo y los factores geográficos como la altitud. Asimismo, se evidencian emisiones por abrasión generadas por el considerable desgaste de sus neumáticos y frenos al encontrarse en situaciones de tráfico, altas velocidades y pendientes pronunciadas.
- En este proyecto se analizó principalmente la topografía, el tipo de combustible y el kilometraje recorrido como factores que inciden en la operación de un vehículo y su relación con las emisiones contaminantes, de las cuales se puede destacar que el índice de KRV es el valor más estable además de necesario para el cálculo de emisiones, que permite estimar el nivel de actividad de los vehículos en una zona, siempre y cuando se cuente con una base de datos confiable e íntegra, preferiblemente proporcionada por la entidad pública competente del transporte en la localidad. Por otro lado, se determina que la condición de operación que presenta mayor incidencia en el desempeño ambiental, en este caso es los eventos de arranque y parada que tienen los vehículos frente al tráfico que se presenta en Quito, así como el esfuerzo del motor para cumplir con la demanda del vehículo en una pendiente considerable.
- La contaminación de todos los tipos de vehículos en Quito es un hecho, sin embargo, en los buses y autos particulares se presenta de manera más evidente. El promedio de kilometraje de los vehículos en el DMQ indica que los buses en general son aquellos que denotan mayor actividad vehicular en la ciudad a través de su aporte como servicio de transporte. La emisión de contaminantes por parte de los

buses se encuentra ligado a su conflictivo proceso de parar y avanzar constantemente por la necesidad de dejar y recoger pasajeros, estos no solo trabajan con la condición constante de frenar detenerse y avanzar que de por sí ya genera un problema de contaminación significativo, sino que además promueve que otros tipos de vehículos en su cercanía también se detengan, incrementando la problemática del tráfico vehicular y la contaminación. Por otro lado, la predominancia de los automóviles de 4 tiempos hace que este tipo de vehículo en conjunto genere una mayor cantidad de KRV en la zona, por lo que la preocupación medioambiental en cuanto a emisiones vehiculares debe estar enfocada en políticas de control que limiten el desmedido crecimiento del parque automotor en automóviles particulares y mejoren la calidad del sistema de transporte.

- Según los resultados obtenidos el principal consumidor de gasolina en el DMQ es el automóvil particular con un porcentaje de consumo del 69%; convirtiendo a este vehículo en el principal emisor de monóxido de carbono y dióxido de azufre a la atmósfera. Por otro lado, los vehículos de carga son los principales consumidores de diésel con un porcentaje del 48 % posicionándose como los principales responsables de la emisión de hollín, hidrocarburos no combustionados y sulfatos en el Distrito Metropolitano de Quito; sin embargo cabe recalcar que la constante movilización de los camiones de carga hacia otros lugares del país, no promueven la concentración particular de contaminantes en la zona; mientras que los automóviles de uso particular generalmente empleados para transportarse dentro de la ciudad, si, incrementando la concentración de contaminantes y deteriorando la calidad del aire del DMQ lo cual pone en riesgo significativo la salud de sus habitantes.
- La caracterización del parque automotor en función de su índice KRV es bastante diferenciado. En general se mantienen promedios de kilometraje recorrido similares para cada tipo de vehículo, sin embargo como en todo grupo de observaciones, existen datos anómalos, que en el caso del DMQ corresponden a actividades extras realizadas por los vehículos en el 2019, como servicio de transporte informal, en el caso de automóviles; contrataciones particulares para recorridos particulares en el caso de buses, microbuses, minibuses y furgonetas; oferta de transporte interprovincial para vehículos de carga y servicio de delivery para motocicletas. Estas actividades adicionales suman un mayor recorrido anual y producen notoriamente una contaminación particular mucho más acentuada.
- La falta de calidad en el servicio de transporte crea zonas de congestión acumulada donde se tienen varias líneas de buses que atraviesan la misma calle o avenida,

mientras que existen zonas del DMQ que carecen de medios de transporte donde las furgonetas o taxis informales suplen esta necesidad. La limitada integración del sistema de transporte en Quito ha impulsado a la adquisición de automóviles particulares que facilitan la movilización diaria de los habitantes y esto se mantiene como una de las principales causas para el crecimiento del parque automotor.

- La creación de rutas típicas permite analizar factores de interés en un grupo nominal de vehículos, como en este caso el análisis de la actividad vehicular a partir de zonas de conflicto, ya sean zonas de pendientes pronunciadas o de mayor congestión vehicular. Los resultados de estos análisis permiten extrapolar el estudio a un grupo de observaciones mayor, sin embargo, los resultados de las rutas típicas planteadas en este proyecto no caracterizan en su totalidad a las condiciones de operación que presentarían los autos en general. En este caso las rutas planteadas para autos, taxis y buses en el DMQ solo representan zonas específicas de conflicto en el DMQ, sin tomar en cuenta que existen muchas zonas conflictivas a lo largo del territorio y que no están siendo tomadas en cuenta: calles con pendientes demasiado pronunciadas, avenidas muy concurridas, vías con un flujo más acelerado, calles empedradas, etc. Debido a la diversidad de condiciones en las que puede encontrarse cualquier vehículo en Quito se determina que la creación de rutas típicas, en este caso no es viable, ya que no representa el problema del universo de estudio; sería más aconsejable realizarlo en zonas de estudio más delimitadas.
- El Distrito Metropolitano de Quito requiere de mucha atención en el tema de movilidad, la implementación de políticas de control tanto en vehiculos existente como en los de nueva adquisición debe ser urgente. El crecimiento del parque automotor no puede seguir sin un control, principalmente porque las vías de Quito no cuentan con la correcta planificación para que la movilidad se fluida y de buen aprovechamiento, además que la saturación en las calles ya resulta evidente; y esto a su vez provoca problemas de contaminación graves que pueden poner en riesgo al sistema de salud pública. Promuevo a otros estudiantes y personas interesadas en el tema a continuar con la línea de investigación, ya que la falta de información sobre la calidad del aire en Quito puede generar problemas a largo o corto plazo y es menester hacer evidente la problemática a las autoridades a través de estudios de este tipo.

4.1 Recomendaciones

- Para futuros estudios sobre emisiones vehiculares es recomendable emplear bases de datos confiables y sobretodo que sean generadas por las entidades públicas competentes en el tema de movilidad, como en el caso de Quito, por la Agencia Metropolitana de Quito. Sin embargo, recomiendo que la petición de estos datos sea realizada con un tiempo de anterioridad considerable debido a la serie de peticiones de información en cola por atender en el centro y el tiempo de revisión y preparación de los datos solicitados.
- Se recomienda incorporar la creación de rutas típicas de emisiones vehiculares a territorios más delimitados, donde el grupo de muestra logre caracterizar en su mayoría las condiciones de operación en las que trabajan los distintos vehículos para de esta manera poder lograr una extrapolación a distintos periodos de tiempo.
- Las encuestas se recomiendan realizarlas fuera de las horas pico, con el objetivo de no interrumpir las horas laborables de mayor interés para los taxistas, de esta manera la encuesta se puede llevar a cabo de manera más calmada y se garantiza así, poder culminarlas.
- Actualmente se recomienda optar por el año 2019 como un año base para cualquier estudio destinado al análisis de emisiones vehiculares, debido a la representatividad que mantiene en cuanto al tema de transporte y movilidad, anterior a los cambios drásticos adoptados por la pandemia del COVID-19, los resultados obtenidos se podrían extrapolar para años posteriores.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agencia Nacional de Tránsito. (2014). *Reglamento de vehículos automotores clásicos*. Resolución No. 027-DIR-2014-ANT.
- Agudelo, J. (2017). Articulación Universidad-Empresa-Estado para establecer factores de emisión reales de los vehículos pesados en el valle de Aburrá (FEVA-II). Convenio Interadministrativo de Asociación No. 888 de 2017. Medellín, Colombia.
- Arguello, C. (2020). *Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas provenientes de fuentes fijas de combustión y del relleno sanitario del Distrito Metropolitano de Quito Año Base 2018*. Tesis de Grado. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Ashhad, T., Cabrera, F. & Roa, O. (2020). Análisis del congestionamiento vehicular para el mejoramiento de vía principal en Guayaquil-Ecuador. Artículo de Investigación. Revista Gaceta Técnica, vol. 21, núm. 2, pp. 4-23.
- Australian Bureau of Infrastructure, Transport and Regional Economics. (2011). *Road vehicle kilometres travelled: estimation from state and territory fuel sales*. Recuperado de: http://www.bitre.gov.au/publications/10/Files/VKT_BITRE_Report124.pdf
- Baca, J. (2014). Informe Final Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio, DMQ 2011. Secretaría de Ambiente. Quito, Ecuador.
- Cadena, D. & Endara, M. (2021). Elaboración del Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles en el DMQ Año Base 2019. Tesis de Grado. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). Artículo 191. Registro Oficial 983 de 12 de abril de 2017.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe | CEPAL. (2003). Congestión del Tránsito: El problema y cómo enfrentarlo. Publicación de las Naciones Unidas. Santiago de Chile, Chile.
- Comisión para la Cooperación Ambiental. (2008). *El mosaico de América del Norte: Panorama de los problemas ambientales más relevantes*. Informe de Proyecto. Quebec, Canadá.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Artículo 14. Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008.

- EEA. (2016). Vehicle emissions and efficiency. Report: a non-technical guide. Recuperado de: <https://www.eea.europa.eu/media/infographics/vehicle-emissions-and-efficiency-1/view>
- EMOV. (2014). Inventario de Emisiones Atmosféricas del Cantón Cuenca 2014.
- EMOV. (2020). Informe de Calidad de Aire, Cuenca 2020.
- Empresa Municipal de Movilidad y Obras públicas. (2009). *Plan maestro de movilidad para el Distrito Metropolitano de Quito: 2009-2025*. Recuperado de: https://biblio.flacsoandes.edu.ec/shared/biblio_view.php?bibid=118765&tab=opac
- Envira IOT. (2019). *Clasificación de partículas contaminantes del aire*. Recuperado de: <https://enviraiot.es/clasificacion-de-particulas-contaminantes-del-aire/>
- EP Petroecuador. (2020). Informe Estadístico Enero - diciembre 2019. Sugerencia de Planificación y Control de Gestión.
- EPA. (2021). *Particulate Matter (PM) Basics*. Recuperado de: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>
- Góngora, P. (2012). Indicador Kilómetros - Vehículo Recorridos (KVR). Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo México. (1° Ed.). México: Fekkes & Guzmán.
- Herrera, J., Rodríguez, S. & Rojas, J. (2012). Determinación de las emisiones de contaminantes del aire generadas por fuentes móviles en carreteras de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 25, N° 1. Enero-marzo, 2012. Pág 54-63.
- INEC. (2020). *Anuario de Estadística de Transporte 2019-ANET*. Recuperado de: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/2019/2019_METODOLOGIA_ANET.pdf
- INEN. (2013). Reglamento Técnico Ecuatoriano para Vehículos de Transporte Escolar. RTE INEN 041:2013.
- Instituto de la Ciudad. (2013). *Conociendo Quito. Estadísticas del Distrito Metropolitano*. Recuperado de: <https://www.institutodelaciudad.com.ec/documentos/folletosdescarga/Folleto1.pdf>
- ISSRC. (2008). Manual de Usuario del Modelo IVE. Versión 2.0. Recuperado de: <http://www.issrc.org/ive/downloads/manuals/UsersManual%28sp%29.pdf>

- Llanes, E., Rocha, J., Peralta, D. & Leguisamo, J. (2018). *Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura*. Enfoque UTE, V.9-N.2, pp. 149 –158. Quito, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire, de los cantones Ambato, Riobamba, Santo Domingo de los Colorados, Latacunga, Ibarra, Manta, Portoviejo, Esmeraldas y Milagro*. Proyecto de Calidad del Aire III Año Base 2010.
- Municipio de Quito. (2021). Mapa del Sitio (DMQ). Recuperado de: <https://www.quito.gob.ec/index.php/mapa-del-sitio>
- Municipio de Quito. (2022). Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico (REMMAQ). Recuperado de: <https://www.quito.gob.ec/index.php/municipio/89-quito-accion>
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2011). Experiencia Urbana en el Distrito Metropolitano de Quito. Recuperado de: https://www.un.org/esa/dsd/susdevtopics/sdt_pdfs/meetings2011/transport/brazil/noboa.pdf
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2011). *Plan de Desarrollo 2012 - 2022*. Recuperado de: http://www.emaseo.gob.ec/documentos/lotaip_2012/s/plan_de_desarrollo_2012_2014.pdf
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2011). *Plan de Desarrollo 2012 - 2022*. Recuperado de: http://www.emaseo.gob.ec/documentos/lotaip_2012/s/plan_de_desarrollo_2012_2014.pdf
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2014). *Diagnóstico del Territorio del DMQ. Unidad del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del DMQ*. Recuperado de: <https://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wp-content/uploads/documentos/pdf/diagnostico-territoio.pdf>
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2020). *Información sobre demografía Quito Como Vamos 2020*. Recuperado de: <https://quitocomovamos.org/wp-content/uploads/2021/05/1.DEMOGRAF%C3%8DA.pdf>
- Ntziachristos, L. & Samaras, Z. (2014). *Exhaust emission from road transport*. EMEP/EEA emission inventory guidebook 2013: 158.
- Pacyna, J. & Graedel, T. (1995). *Inventories: Status and Prospects*. Annual Review of Energy and Environment. Environment and Resources, 20: 265-300.

- Páez, C. (2009). Gestión de la Contaminación Atmosférica Urbana: El caso de Quito. Recuperado de: <https://flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/10088.ContaminacionQuito.pdf>
- Pratap, M. & Garg, V. (2013). *Causes, Consequences and Control of Air Pollution*. Deptt. Of Civil Engineering, University College of Engineering, Rajasthan Technical University, Kota, Rajasthan.
- RCCAVA. (2022). *Material particulado PM10/PM2,5*. Recuperado de: <https://www.valladolid.es/es/rccava/contaminantes/material-particulado-pm10-pm2-5>
- Romero, B. (2017). *Desarrollo de aplicación de bins de entrada de patrones de conducción de acuerdo al modelo internacional de emisiones vehiculares (IVE)*. Tesis de Grado. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador.
- Romero, M., Olite, F. & Álvarez, M. (2006). *La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud*. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, vol. 44, núm. 2, 2006, pp. 1-14. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Ciudad de La Habana, Cuba.
- Salazar, H. & Pilar, I. (2008). Estudio comparativo de actividad vehicular y modelación de emisiones para Santiago y Buenos Aires. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile.
- Sarango, D. & Moncayo, P. (2016). Determinación del Indicador de Kilómetros - Vehículo Recorrido (KVR) para la ciudad de Cuenca. Tesis de Grado. Universidad Politécnica Salesiana Sede Matriz Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- Secretaría de Ambiente. (2020). Informe Anual de la Calidad de Aire de Quito Año 2018. Recuperado de: http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/Informe_Calidad_Aire_2018.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas*. (1° Ed.). México: ISBN.
- TULSMA. (2015). Libro VI, Anexo 4. Registro Oficial 387 de 4 de noviembre de 2015.
- UNICEF Ecuador. (2020). *El aire que respiramos: Los efectos de la contaminación del aire y del cambio climático en la salud de la niñez en el Ecuador*. (1° Ed.). Quito, Ecuador: LETRA SABIA.
- US-EPA. (1997). *Introduction to the Emission Inventory Improvement Program*. Emission Inventory Improvement Program: 122

Vega, D., Ocaña, L. & Parra, R. (2015). *Inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito. Año base 2012*. Avances en Ciencias e Ingenierías, Sección C. Universidad San Francisco de Quito (USFQ), Quito, Ecuador.

WHO | World Health Organization. (2022). *Air Pollution*. Recuperado de: https://www.who.int/es/health-topics/air-pollution#tab=tab_1

WHO | World Health Organization. (2022). *Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado*. Comunicado de Prensa. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>.

6 ANEXOS

ANEXO I

ENCUESTA: 1



ENCUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE TAXIS EN EL DMQ

Sr/Srta. Taxista

¿Cuál es su nombre?

Edgar Vallejo

¿Cuánto tiempo lleva trabajando como taxista?

18 años

¿Trabaja para alguna cooperativa? ¿Cuál?

San Felipe (Condado Shopping)

¿Cuántas horas al día trabaja?

14 horas

¿En qué sector de Quito prefiere trabajar?

Norte porque hay más movimiento

¿Cuántas carreras aproximadas realiza en un día?

20-25 carreras

¿Usted trabaja con alguna aplicación de transporte como Uber, Didi, InDriver, etc.?

Didi e InDriver

¿De ser así, cree que es mucho más cómodo trabajar con aplicaciones que de la forma convencional? ¿Por qué?

Hay mucho más trabajo que trabajando de la manera convencional

¿Qué tipo de combustible utiliza?

Gasolina Extra

¿Cuánto de combustible consume al día?

\$15

¿Cuántas veces lleva el vehículo al mecánico?

Cada 15 días para revisión de frenos y pastillas

¿Ha tenido problemas para pasar la Revisión Técnica Vehicular alguna vez?

Si, por emisión de gases y los focos

¿Cuánto tiempo estima usted que circula el vehículo hasta conseguir un nuevo pasajero a bordo, es decir cuál es el tiempo que tiene entre carreras?

Una hora y media rodando y hasta 20 minutos con aplicaciones

¿En qué horas del día considera usted que existe mayor clientela?

6am-9am y 4pm-10pm

¿En qué zonas de Quito considera usted que existe mayor congestión vehicular?

Centro, Gran Colombia, Napo, Guayaquil

¿A que velocidad considera usted que va regularmente por la ciudad?

60-70 km/h

¿Me podría ejemplificar cual fue la carrera más larga que ha hecho y de donde a dónde fue?

¿Y cuál fue el costo?

Quito-Bahía de Caráquez \$106

ENCUESTA: 2



ENCUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE TAXIS EN EL DMQ

Sr/Srta. Taxista

¿Cuál es su nombre?

Ángel Chauca

¿Cuánto tiempo lleva trabajando como taxista?

10 años

¿Trabaja para alguna cooperativa? ¿Cuál?

Rochdale

¿Cuántas horas al día trabaja?

12 horas

¿En qué sector de Quito prefiere trabajar?

Norte, lo conozco de mejor manera

¿Cuántas carreras aproximadas realiza en un día?

10

¿Usted trabaja con alguna aplicación de transporte como Uber, Didi, InDriver, etc.?

No

¿De ser así, cree que es mucho más cómodo trabajar con aplicaciones que de la forma convencional? ¿Por qué?

¿Qué tipo de combustible utiliza?

Gasolina Extra

¿Cuánto de combustible consume al día?

\$10

¿Cuántas veces lleva el vehículo al mecánico?

Cada 6 meses por mantenimiento

¿Ha tenido problemas para pasar la Revisión Técnica Vehicular alguna vez?

Si, por las pastillas

¿Cuánto tiempo estima usted que circula el vehículo hasta conseguir un nuevo pasajero a bordo, es decir cuál es el tiempo que tiene entre carreras?

Hasta una hora en días bajos

¿En qué horas del día considera usted que existe mayor clientela?

6am-8am y 12:30pm-1:30pm

¿En qué zonas de Quito considera usted que existe mayor congestión vehicular?

Desde la Villaflora, por la Napo hasta cruzar al norte, en la Maldonado y la Occidental

¿A que velocidad considera usted que va regularmente por la ciudad?

40-50 km/h

**¿Me podría ejemplificar cual fue la carrera más larga que ha hecho y de donde a dónde fue?
¿Y cuál fue el costo?**

Tababela \$20-25

ENCUESTA: 3



**ENCUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN
DE TAXIS EN EL DMQ**

Sr/Srta. Taxista

¿Cuál es su nombre?

Emily Espinosa

¿Cuánto tiempo lleva trabajando como taxista?

8 meses

¿Trabaja para alguna cooperativa? ¿Cuál?

No

¿Cuántas horas al día trabaja?

4-5 horas

¿En qué sector de Quito prefiere trabajar?

Norte, valle de Tumbaco y Cumbayá

¿Cuántas carreras aproximadas realiza en un día?

8

¿Usted trabaja con alguna aplicación de transporte como Uber, Didi, InDriver, etc.?

Didi

¿De ser así, cree que es mucho más cómodo trabajar con aplicaciones que de la forma convencional? ¿Por qué?

Si, porque no es un horario establecido. Y se trabaja en las horas que uno tenga tiempo.

¿Qué tipo de combustible utiliza?

Gasolina Extra

¿Cuánto de combustible consume al día?

6 galones 16 dólares

¿Cuántas veces lleva el vehículo al mecánico?

Por mantenimientos. Cada 2 meses

¿Ha tenido problemas para pasar la Revisión Técnica Vehicular alguna vez?

No

¿Cuánto tiempo estima usted que circula el vehículo hasta conseguir un nuevo pasajero a bordo, es decir cuál es el tiempo que tiene entre carreras?

5 minutos

¿En qué horas del día considera usted que existe mayor clientela?

6am-9am y 4pm-7pm

¿En qué zonas de Quito considera usted que existe mayor congestión vehicular?

Mariscal Sucre y Centro Norte de Quito

¿A que velocidad considera usted que va regularmente por la ciudad?

50 km/h

**¿Me podría ejemplificar cual fue la carrera más larga que ha hecho y de donde a dónde fue?
¿Y cuál fue el costo?**

Quitumbe - Cumbayá

ENCUESTA: 4



**ENCUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN
DE TAXIS EN EL DMQ**

Sr/Srta. Taxista

¿Cuál es su nombre?

Wilson López

¿Cuánto tiempo lleva trabajando como taxista?

10 años

¿Trabaja para alguna cooperativa? ¿Cuál?

Trabajo en una compañía, no cooperativa.
Transhigchos

¿Cuántas horas al día trabaja?

7 horas

¿En qué sector de Quito prefiere trabajar?

En el norte de Quito

¿Cuántas carreras aproximadas realiza en un día?

15 carreras

¿Usted trabaja con alguna aplicación de transporte como Uber, Didi, InDriver, etc.?

No

¿De ser así, cree que es mucho más cómodo trabajar con aplicaciones que de la forma convencional? ¿Por qué?

¿Qué tipo de combustible utiliza?

Extra

¿Cuánto de combustible consume al día?

\$10

¿Cuántas veces lleva el vehículo al mecánico?

Una vez al mes en promedio

¿Ha tenido problemas para pasar la Revisión Técnica Vehicular alguna vez?

Si, alguna vez una de las luces de retro había estado quemada. En general no he tenido mayor problema

¿Cuánto tiempo estima usted que circula el vehículo hasta conseguir un nuevo pasajero a bordo, es decir cuál es el tiempo que tiene entre carreras?

De 30 minutos a 45 minutos

¿En qué horas del día considera usted que existe mayor clientela?

6:30

12:30

17:30

¿En qué zonas de Quito considera usted que existe mayor congestión vehicular?

En la Napo, Necochea, Vía Oriental.

¿A que velocidad considera usted que va regularmente por la ciudad?

60 km/h

**¿Me podría ejemplificar cual fue la carrera más larga que ha hecho y de donde a dónde fue?
¿Y cuál fue el costo?**

Al aeropuerto, Tababela.

\$25

ENCUESTA: 5



ENCUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE TAXIS EN EL DMQ

Sr/Srta. Taxista

¿Cuál es su nombre?

René Carrera

¿Cuánto tiempo lleva trabajando como taxista?

20 años

¿Trabaja para alguna cooperativa? ¿Cuál?

Cooperativa Bonanza

¿Cuántas horas al día trabaja?

11 horas

¿En qué sector de Quito prefiere trabajar?

En el norte de Quito

¿Cuántas carreras aproximadas realiza en un día?

20 carreras

¿Usted trabaja con alguna aplicación de transporte como Uber, Didi, InDriver, etc.?

No

¿De ser así, cree que es mucho más cómodo trabajar con aplicaciones que de la forma convencional? ¿Por qué?

¿Qué tipo de combustible utiliza?

Extra

¿Cuánto de combustible consume al día?

\$15

¿Cuántas veces lleva el vehículo al mecánico?

2 veces al mes por cambio de aceite

¿Ha tenido problemas para pasar la Revisión Técnica Vehicular alguna vez?

No

¿Cuánto tiempo estima usted que circula el vehículo hasta conseguir un nuevo pasajero a bordo, es decir cuál es el tiempo que tiene entre carreras?

Unos 30 minutos aproximadamente

¿En qué horas del día considera usted que existe mayor clientela?

En la mañana a partir de las 6am hasta las 10am

¿En qué zonas de Quito considera usted que existe mayor congestión vehicular?

En la Occidental, la Napo

¿A que velocidad considera usted que va regularmente por la ciudad?

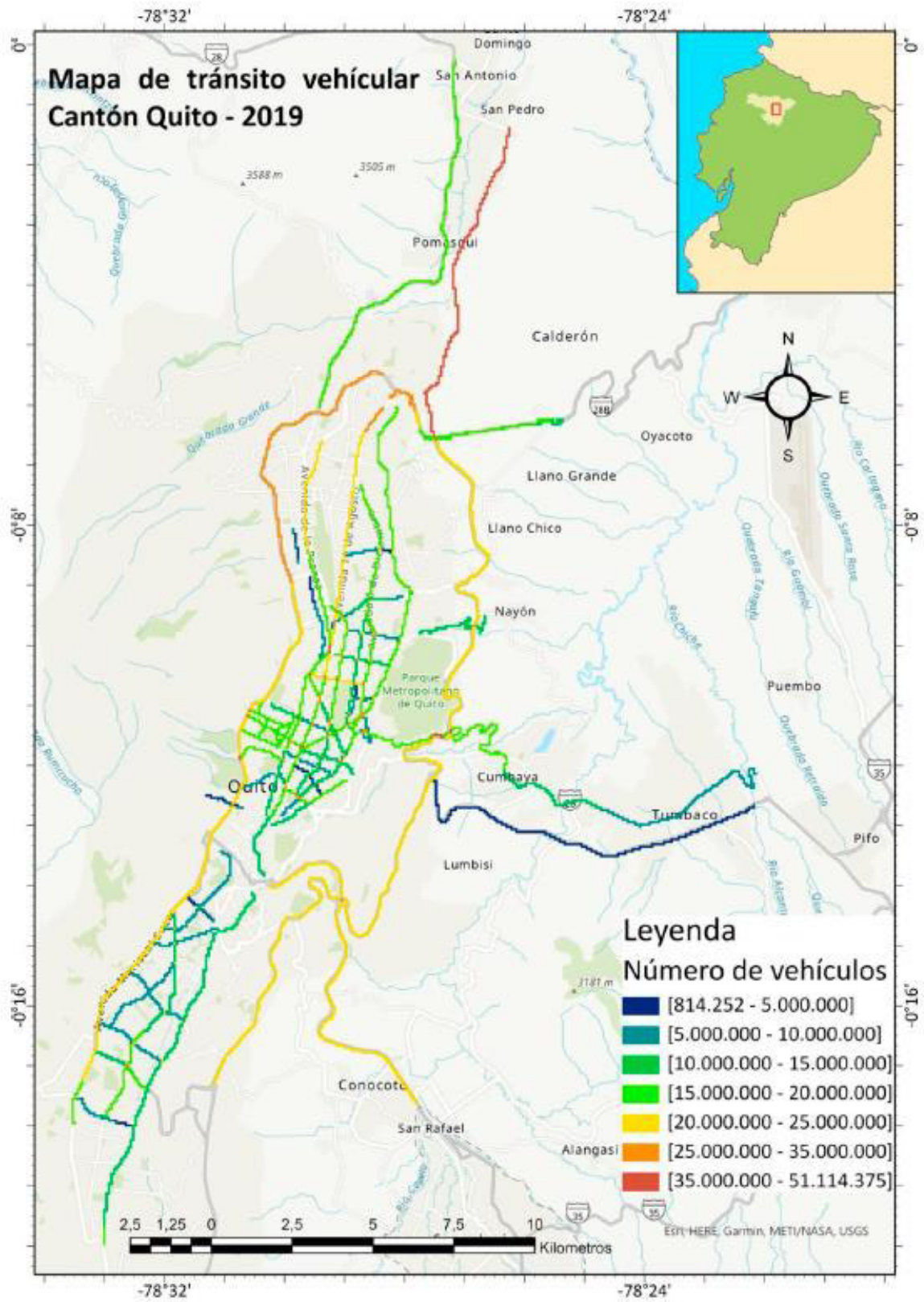
50 km/h

**¿Me podría ejemplificar cual fue la carrera más larga que ha hecho y de donde a dónde fue?
¿Y cuál fue el costo?**

A Machachi

\$25

ANEXO II



Fuente: (Cadena & Endara, 2021)