

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES  
MÓVILES EN EL DMQ AÑO BASE 2019

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO/A  
AMBIENTAL

DARWIN ALEJANDRO CADENA GÓMEZ

[darwin.cadena01@epn.edu.ec](mailto:darwin.cadena01@epn.edu.ec)

MARÍA BELÉN ENDARA MIÑO

[maria.endara@epn.edu.ec](mailto:maria.endara@epn.edu.ec)

DIRECTOR: ING. CARLOS LUIS PÁEZ PÉREZ

[carlos.paez@epn.edu.ec](mailto:carlos.paez@epn.edu.ec)

Quito, enero 2021

## **DECLARACIÓN**

Nosotros, Darwin Alejandro Cadena Gómez y María Belén Endara Miño declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**DARWIN ALEJANDRO CADENA GÓMEZ**

---

**MARÍA BELÉN ENDARA MIÑO**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Darwin Alejandro Cadena Gómez y María Belén Endara Miño, bajo mi supervisión.

---

**ING. CARLOS LUIS PÁEZ PÉREZ**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

A mi mamá, por apoyar mis decisiones y darme su mano para lograr todo lo que me he propuesto, darme un consejo cuando lo necesité y su sabiduría cuando me perdí.

A mi padre, por apoyarme en estos años de estudios, nunca me faltó nada gracias a ti. A mis hermanos por quererme y ayudarme, a su manera. A mis hermanos por la ternura y cariño, por no dejarme solo, por estar conmigo y verme crecer, por su sabiduría.

A la Escuela Politécnica Nacional, por ser la fuente de conocimientos que me ha permitido lograr mi objetivo de ser Ingeniero. Por permitirme pasar los mejores y peores años de mi vida, pero sobre todo por darme un espacio para crecer.

A mi mejor amigo del barrio Israel, por estar ahí en las buenas y en las malas, en las que sabía qué hacer y en las que no, por no dejarme caer y ser incondicionales, gracias. A los 1D, en ustedes encontré amistad y desafíos, compartí logros y derrotas, alegrías y tristezas, mi paso por la universidad no hubiera sido igual sin ustedes. A mis amigos de la facultad que cursaron conmigo esta carrera, por todas las locuras compartidas, las risas inolvidables y las incontables horas de estudio.

A mi director de tesis Carlos Páez, por ayudarme en lo que necesité para alcanzar este logro, por estar pendiente más que como un director como un amigo.

**Darwin Cadena**



## AGRADECIMIENTO

Agradezco a la vida, a mi madre y a mi padre por demostrarme día a día que el esfuerzo y el amor hacia tus objetivos son las únicas cosas que te pueden dar frutos, gracias por enseñarme que los sueños se cumplen por más lejanos y difíciles que parezcan, lo hicieron con su ejemplo.

Gracias a mis hermanos y mi cuñada que con su alegría siempre me sacan adelante, son para mí ejemplo de superación y de amor infinito. Cerca o lejos supieron darme una mano cuando más lo necesitaba.

A Alejo que estuvo conmigo durante toda la etapa universitaria, desde los peldaños más difíciles hasta los festejos, gracias por levantarme con amor y ser para mí ayuda incondicional.

Agradezco a mis eternas amigas Domi, Mica y Magus por hacerme feliz desde niñas y apoyarme a lo largo de toda la carrera con sus palabras de aliento. A mis amigos Fabián, César, Cris, Paúl, Karlita, Silvi y Taty son el mejor regalo que me dejó la carrera, sin ustedes esta etapa no hubiese sido lo mismo.

Gracias a Darwin por tomar el desafío de realizar este proyecto de titulación juntos y lograrlo como lo esperábamos.

A mi tutor de tesis, Ing. Carlos Páez por su generosidad al impartirnos todo su conocimiento y motivarnos siempre a dar un poco más para que nuestro proyecto salga de la mejor manera posible. A la Ing. Valeria Díaz coordinadora de Investigación, Análisis y Monitoreo de la Secretaría de Ambiente de Quito por su ayuda en la recolección de datos y brindarnos sus experiencias profesionales durante la realización de nuestro proyecto.

**María Belén**

## DEDICATORIA

*A mis padres, Darwin  
y Silvia por su  
sacrificio y ejemplo.*

*Darwin*

## DEDICATORIA

*A mi madre Mónica y a mi padre  
René,*

*A mis hermanos Juan Francisco,  
Carolina y José Antonio,*

*A mis abuelitas, una me abraza aquí  
y otra me mira desde lo más alto del  
cielo,*

*A toda mi familia,*

*Todo por ustedes, gracias por  
prepararme para la vida.*

*María Belén*

## CONTENIDO

Declaración.....	i
Certificación.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Dedicatoria.....	v
Lista de tablas.....	ix
Lista de gráficos.....	xi
Simbología y siglas.....	xv
Resumen.....	xvi
Abstract.....	xvii
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Alcance.....	5
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>6</b>
2.1. La contaminación del aire.....	6
2.2. Los contaminantes del aire y sus efectos sobre la salud.....	8
2.3. Estándares de calidad del aire.....	13
2.4. El proceso de la contaminación del aire.....	15
2.5. Área de estudio.....	23
2.6. La calidad del aire en Quito.....	35
2.7. Los inventarios y las emisiones vehiculares.....	53
2.8. Revisión del estado del arte de los inventarios de fuentes móviles en Quito.....	63
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>72</b>

3.1. Mapa de trafico vehicular.....	72
3.2. Sistematización de la incertidumbre .....	77
3.3. Cálculo de la emisión .....	80
3.4. Mapa de emisiones .....	88
CAPITULO IV.....	90
4.1. Cálculo de actividad .....	90
4.2. Cálculo de la emisión .....	91
4.3. Comparación del 2019 con el inventario del 2011 .....	95
4.4. Distribución temporal mensual.....	96
4.5. Distribución temporal horaria.....	101
4.7. Emisión por categoría de vehículo.....	112
4.8. Mapeo de la emisión vehicular .....	120
CAPITULO V.....	130
5.1. Conclusiones .....	130
5.2. Recomendaciones .....	131
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	133
ANEXOS.....	142

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla No 1</b> Identificación de individuos sensibles por tipo de contaminante del aire .....	7
<b>Tabla No 2</b> Límites máximos permitidos de los contaminantes criterios del aire según la Norma Ecuatoriana y valores referenciales correspondientes recomendados por la Organización Mundial de la Salud.....	14
<b>Tabla No 3</b> Zonas administrativas DMQ .....	23
<b>Tabla No 4</b> Temperatura DMQ, 2019 .....	28
<b>Tabla No 5</b> Estaciones de monitoreo de Calidad del aire .....	41
<b>Tabla No 6</b> Límites numéricos de cada categoría del IQCA ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).....	44
<b>Tabla No 7</b> Emisiones anuales en Quito t/año .....	65
<b>Tabla No 8</b> Origen de la información utilizada en los anteriores inventarios .....	67
<b>Tabla No 9</b> Factores de emisión en base a la altura para vehículos con motor de ciclo Otto.....	69
<b>Tabla No 10</b> Factores de emisión en la zona urbana de Quito .....	70
<b>Tabla No 11</b> Caracterización del parque vehicular, por tipo de vehículos que circulan en el DMQ.....	73
<b>Tabla No 12</b> Ejemplo de documento Excel con estructura de conteo vehicular.....	75
<b>Tabla No 13</b> Matriz de incertidumbre .....	78
<b>Tabla No 14</b> Bibliografía de factores de emisión.....	83
<b>Tabla No 15</b> Factores de emisión por tubo de escape .....	84
<b>Tabla No 16</b> Factores de emisión por evaporación.....	84
<b>Tabla No 17</b> Factores de emisión por evaporación (continuación...) .....	85
<b>Tabla No 18</b> Factores de emisión por abrasión (ruedas y frenos).....	85
<b>Tabla No. 19</b> Factores de emisión por abrasión (ruedas y frenos) (continuación...) .....	86
<b>Tabla No 20</b> Factores de emisión por abrasión (superficie de la vía).....	86
<b>Tabla No 21</b> Excel de la Revisión Técnica Vehicular .....	87
<b>Tabla No 22</b> Clasificación de datos por categoría vehicular.....	88
<b>Tabla No 23</b> Número de vehículos presentados a la revisión técnica vehicular (RTV) del 2019.....	90

<b>Tabla No 24</b> Número de vehículos por tipo de combustible presentados a la RTV del 2019 .....	91
<b>Tabla No 25</b> Emisión por tubo de escape .....	92
<b>Tabla No 26</b> Emisión por evaporación.....	93
<b>Tabla No 27</b> Emisión por abrasión (ruedas, frenos y superficie de la vía).....	93
<b>Tabla No 28</b> Emisiones totales de fuentes móviles.....	95
<b>Tabla No 29</b> Comparación de emisiones 2011 y 2019 en t/año .....	95
<b>Tabla No 30</b> Valor total de conteos vehiculares por semáforos inteligentes mensuales. ....	97
<b>Tabla No 31</b> Cantidad de vehículos en el DMQ por hora para un día laborable.	101
<b>Tabla No 32</b> Emisiones horarias en t/h de todos los contaminantes para un día laborable. ....	102
<b>Tabla No 33</b> Distribución horaria de emisiones de PM <sub>2,5</sub> (t/h) para día laborable para el año 2019 .....	107
<b>Tabla No 34</b> Emisiones horarias en t/h de todos los contaminantes para un día de fin de semana. ....	108

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico No 1</b> Proceso de la contaminación del aire.....	16
<b>Gráfico No 2</b> Estadísticas sobre distribución de emisión de contaminantes a nivel mundial.....	17
<b>Gráfico No 3</b> Ubicación de Pichincha en el Ecuador .....	25
<b>Gráfico No 4</b> División de Pichincha entre DMQ y otros cantones .....	25
<b>Gráfico No 5</b> Clasificación del DMQ en zona urbana y rural.....	26
<b>Gráfico No 6</b> Administraciones zonales del DMQ.....	26
<b>Gráfico No 7</b> Temperatura media DMQ, año 2019 .....	27
<b>Gráfico No 8</b> Velocidad del viento .....	29
<b>Gráfico No 9</b> Precipitación media DMQ, 2019.....	29
<b>Gráfico No 10</b> Humedad relativa DMQ, 2019 .....	30
<b>Gráfico No 11</b> Evolución histórica poblacional .....	31
<b>Gráfico No 12</b> Evolución histórica poblacional por Administraciones Zonales.....	32
<b>Gráfico No 13</b> Localización del hipercentro en el DMQ .....	32
<b>Gráfico No 14</b> Proyección de incremento de vehículos hasta el año 2030 .....	33
<b>Gráfico No 15</b> Proporción de la distribución modal de viajes desglosada por modos de transporte .....	34
<b>Gráfico No 16</b> Número de viajes por día atraídos en transporte público.....	34
<b>Gráfico No 17</b> Número de viajes por día atraídos en transporte privado .....	35
<b>Gráfico No 18</b> Mapa del DMQ con puntos IQCA.....	37
<b>Gráfico No 19</b> Evolución histórica de la calidad del aire en DMQ, concentraciones medias anuales de los contaminantes criterio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) durante el periodo 2014 – 2019 .....	38
<b>Gráfico No 20</b> Comparación de la NECA versus valores anuales de contaminantes del aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) durante el periodo 2014 – 2019 .....	39
<b>Gráfico No 21</b> Estructura Orgánica de la Secretaría del Ambiente DMQ.....	40
<b>Gráfico No 22</b> Porcentaje de emisiones atmosféricas por fuentes móviles en el DMQ .....	46
<b>Gráfico No 23</b> Porcentaje de emisiones atmosféricas por fuentes fijas en el DMQ .....	47



<b>Gráfico No 24</b> Porcentaje de emisiones atmosféricas por fuentes de área en el DMQ .....	47
<b>Gráfico No 25</b> Comparativo de los vehículos matriculados por uso y tipo de combustible.....	48
<b>Gráfico No 26</b> Gasolina de 92 octanos.....	49
<b>Gráfico No 27</b> Gasolina de 87 octanos.....	49
<b>Gráfico No 28</b> Diesel Premium.....	50
<b>Gráfico No 29</b> Evolución histórica de los contaminantes precursores (ton/año) en los Inventarios de fuentes móviles en el DMQ.....	66
<b>Gráfico No 30</b> Evolución histórica de los contaminantes primarios (ton/año) en los Inventarios de fuentes móviles en el DMQ .....	66
<b>Gráfico No 31</b> Evolución histórica de los GEI (ton/año) en los Inventarios de fuentes móviles en el DMQ .....	67
<b>Gráfico No 32</b> Ubicación de sentidos viales. ....	74
<b>Gráfico No 33</b> Mapa de vías DMQ .....	76
<b>Gráfico No 34</b> Interpolación de datos faltantes.....	77
<b>Gráfico No 35</b> Diagrama de flujo para selección de Tier para método de cálculo de emisión .....	79
<b>Gráfico No 36</b> Distribución mensual de emisiones de PM <sub>10</sub> (t/mes) para el año 2019.....	98
<b>Gráfico No 37</b> Distribución mensual de emisiones de PM <sub>2,5</sub> (t/mes) para el año 2019.....	98
<b>Gráfico No 38</b> Distribución mensual de emisiones de CO (t/mes) para el año 2019.....	99
<b>Gráfico No 39</b> Distribución mensual de emisiones de NO <sub>x</sub> (t/mes) para el año 2019.....	99
<b>Gráfico No 40</b> Distribución mensual de emisiones de SO <sub>2</sub> (t/mes) para el año 2019.....	100
<b>Gráfico No 41</b> Distribución mensual de emisiones de COV (t/mes) para el año 2019.....	100
<b>Gráfico No 42</b> Distribución horaria de emisiones de PM <sub>10</sub> (t/h) para día laborable para el año 2019.....	103

<b>Gráfico No 43</b> Distribución horaria de emisiones de PM <sub>2,5</sub> (t/h) para día laborable para el año 2019 .....	104
<b>Gráfico No 44</b> Distribución horaria de emisiones de CO (t/h) para día laborable para el año 2019. ....	104
<b>Gráfico No 45</b> Distribución horaria de emisiones de NO <sub>x</sub> (t/h) para día laborable para el año 2019. ....	105
<b>Gráfico No 46</b> Distribución horaria de emisiones de SO <sub>2</sub> (t/h) para día laborable para el año 2019. ....	105
<b>Gráfico No 47</b> Distribución horaria de emisiones de COV (t/h) para día laborable para el año 2019. ....	106
<b>Gráfico No 48</b> Distribución horaria de emisiones de PM <sub>10</sub> (t/h) para un día de fin de semana para el año 2019.....	109
<b>Gráfico No 49</b> Distribución horaria de emisiones de PM <sub>2,5</sub> (t/h) para un día de fin de semana para el año 2019.....	109
<b>Gráfico No 50</b> Distribución horaria de emisiones de CO (t/h) para un día de fin de semana para el año 2019.....	110
<b>Gráfico No 51</b> Distribución horaria de emisiones de NO <sub>x</sub> (t/h) para un día de fin de semana para el año 2019.....	110
<b>Gráfico No 52</b> Distribución horaria de emisiones de SO <sub>2</sub> (t/h) para un día de fin de semana para el año 2019.....	111
<b>Gráfico No 53</b> Distribución horaria de emisiones de COV (t/h) para un día de fin de semana para el año 2019.....	111
<b>Gráfico No 54</b> Emisión de PM <sub>10</sub> por categoría vehicular para el año 2019 .....	112
<b>Gráfico N° 55</b> Emisión de PM <sub>10</sub> por tipo de combustible para el año 2019 .....	113
<b>Gráfico N° 56</b> Emisión de PM <sub>2,5</sub> por categoría vehicular para el año 2019 .....	113
<b>Gráfico N° 57</b> Emisión de PM <sub>2,5</sub> por tipo de combustible para el año 2019 .....	114
<b>Gráfico N° 58</b> Emisión de CO por tipo de combustible para el año 2019 .....	115
<b>Gráfico N° 59</b> Emisión de NO <sub>x</sub> por categoría vehicular para el año 2019. ....	116
<b>Gráfico N° 60</b> Emisión de NO <sub>x</sub> por tipo de combustible para el año 2019 .....	117
<b>Gráfico N° 61</b> Emisión de SO <sub>2</sub> por categoría vehicular para el año 2019. ....	118
<b>Gráfico N° 62</b> Emisión de SO <sub>2</sub> por tipo de combustible para el año 2019. ....	118
<b>Gráfico N° 63</b> Emisión de COV por categoría vehicular para el año 2019. ....	119
<b>Gráfico N° 64</b> Emisión de COV por tipo de combustible para el año 2019 .....	120

<b>Gráfico N° 65</b>	Mapa de tráfico vehicular .....	122
<b>Gráfico N° 66</b>	Mapa de emisión de CO (t/año) .....	123
<b>Gráfico N° 67</b>	Mapa de emisión de COV (t/año).....	124
<b>Gráfico N° 68</b>	Mapa de emisión de CO <sub>2</sub> (t/año).....	125
<b>Gráfico N° 69</b>	Mapa de emisión de PM <sub>10</sub> (t/año) .....	126
<b>Gráfico N° 70</b>	Mapa de emisión de PM <sub>2,5</sub> (t/año).....	127
<b>Gráfico N° 71</b>	Mapa de emisión de NO <sub>x</sub> (t/año).....	128
<b>Gráfico N° 72</b>	Mapa de emisión de SO <sub>2</sub> (t/año).....	129

## SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

- CORPAIRE** Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito
- DMQ** Distrito Metropolitano de Quito
- EPA** United States Environmental Protection Agency
- GEI** Gases de Efecto Invernadero
- INEC** Instituto Nacional de Estadística y Censos
- MAE** Ministerio de Ambiente del Ecuador
- MDMQ** Municipio del Distrito Metropolitano de Quito
- MDMQ** Municipio del Distrito Metropolitano de Quito
- NECA** Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire
- OMS** Organización Mundial de la Salud
- REDAUTO** Red Automática de Monitoreo
- REMMAQ** Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito
- RTV** Revisión Técnica Vehicular
- SEMARNAT** Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- 
- CH<sub>4</sub>** Metano
- CO** Monóxido de carbono
- CO<sub>2</sub>** Dióxido de carbono
- COVNM** Compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano
- N<sub>2</sub>O** Óxido nitroso
- NH<sub>3</sub>** Amoniaco
- NO<sub>x</sub>** Óxidos de nitrógeno
- PM<sub>10</sub>** Partículas con diámetro aerodinámico menor a 10 micras
- PM<sub>2.5</sub>** Partículas con diámetro aerodinámico menor a 2.5 micras
- SO<sub>2</sub>** Dióxido de azufre

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene por objeto actualizar el inventario de emisiones de fuentes móviles del DMQ elaborado en el año 2014, la investigación se realizó con jornadas en campo para la toma de datos como conteos vehiculares en sectores del Distrito Metropolitano de Quito que aún no cuentan con semáforos inteligentes ni contadores para su fácil procesamiento, esto fue complementado con la recopilación de datos de años anteriores y trabajos de investigación que ayudaron a rellenar los vacíos existentes en la red vehicular realizando interpolaciones especialmente en el sector rural de la ciudad. Para el cálculo de las emisiones se clasificó el parque vehicular del DMQ en 8 categorías: automóviles, taxis, camionetas, microbús, busetas, buses, transporte de carga y motocicletas, esto con el fin de utilizar los factores de emisión que se manejan en otros países como México y Colombia con los cuales fue posible adaptar nuestro modelo debido a las características similares de topografía, clima y clasificación vehicular.

Posteriormente se realizaron mapas dinámicos que detallan la cantidad de vehículos que circulan por el DMQ, con la finalidad de analizar la relación espacio temporal de los contaminantes atmosféricos y la distribución de estos en diversos sectores conflictivos de la ciudad, para este proceso se utilizaron los datos de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito llevada a cabo por la Secretaría de Ambiente, los cuales monitorean los contaminantes criterio como CO, O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, y los contaminantes no convencionales como benceno, cadmio y mercurio.

Finalmente, los cálculos realizados contribuyeron a aclarar la situación medio ambiental, con respecto a las emisiones que afectan la calidad del aire, por la que atraviesa el Distrito Metropolitano de Quito. Gracias al análisis de gráficos se logra entender como es el comportamiento de ciertos contaminantes en distintas épocas del año, así como a definir soluciones amigables con el ordenamiento territorial de la ciudad.

**Palabras clave:** Inventario de emisiones atmosféricas, calidad del aire, tráfico vehicular, DMQ, contaminación

## ABSTRACT

This research work seeks to update the inventory of emissions from mobile sources of the DMQ prepared in 2014, the research was carried out with field days to collect data such as vehicle counts in sectors of the Metropolitan District of Quito that still do not have Smart traffic lights or counters for easy processing, this was complemented with the collection of data from previous years and research work that helped fill the existing gaps in the vehicular network by performing interpolations especially in the rural sector of the city. To calculate the emissions, the DMQ vehicle fleet was classified into 8 categories: automobiles, taxis, vans, minibuses, vans, buses, cargo transportation and motorcycles, this to use the emission factors that are handled in other countries such as Mexico and Colombia with which it was possible to adapt our model due to the similar characteristics of topography, climate and vehicle classification.

Afterward, dynamic maps were made that detail the number of vehicles that circulate through the DMQ, in order to analyze the space-time relationship of atmospheric pollutants and their distribution in various conflictive sectors of the city, for this process the data was used of the Metropolitan Network of Atmospheric Monitoring of Quito carried out by the Secretary of the Environment, which monitors criteria pollutants such as CO, O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>, and unconventional pollutants such as benzene, cadmium and mercury .

Finally, the results made contributed to clarify the environmental situation, with respect to the emissions that affected the quality of the air, through which the Metropolitan District of Quito passes. Thanks to the analysis of graphs, it is possible to understand how certain pollutants behave at different times of the year, as well as define friendly solutions with the territorial order of the city.

**Keywords:** Air emissions inventory, air quality, vehicular traffic, DMQ, pollution.

# **CAPÍTULO I**

## **ASPECTOS GENERALES**

Este capítulo servirá de guía para entender el contexto del proyecto de investigación realizado, el cual contiene la justificación, los objetivos y el alcance, todos dirigidos a la obtención de datos, generación de estadísticas y cálculos para conformar el Inventario de Emisiones Atmosféricas del Distrito Metropolitano de Quito, el cual no se ha realizado desde el año 2011 y según normativas de la OMS dichos inventarios deben ser configurados cada dos años.

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Los inventarios de emisiones a la atmósfera son instrumentos muy útiles para la gestión ambiental del recurso aire, ya que proporcionan información sobre la contribución de las distintas fuentes emisoras de gases y material particulado considerados como contaminantes del aire, precursores para la formación de contaminantes secundarios, o gases de efecto invernadero, que en conjunto permiten asignar responsabilidades sobre la degradación del recurso, para a partir de ello desarrollar estrategias para su manejo ambiental, orientado a la minimización de las emisiones (Pacyna & Graedel, 1995).

En términos generales, los inventarios se construyen sistematizando y procesando cuantitativa, espacial y temporalmente la estimación de las emisiones de las distintas actividades o procesos identificados como fuentes, a partir de la determinación de su actividad; por ejemplo: número de horas de operación al año para ciertos equipos, kilómetros recorridos al año para vehículos o toneladas de producción al año para algunos procesos; y, los factores de emisión asociados a ella, expresados en cantidad de contaminante por unidad de actividad de la fuente.

El último inventario de emisiones de Quito se publicó en el 2014, con datos del 2011, por lo que resulta indispensable su actualización debido al crecimiento poblacional y los consecuentes cambios en la existencia y en las condiciones de

operación y desempeño ambiental de las diversas fuentes en estos años. Este trabajo se enfoca en la actualización para las fuentes móviles; es decir, para los vehículos automotores que circulan dentro del sistema vial del Distrito Metropolitano de Quito.

Actualmente las directrices de la unión europea para el cálculo de emisiones provenientes de fuentes móviles se basan en el programa COPERT 4 (Ntziachristos, y otros, 2009), en el cual se clasifican los vehículos en base a su uso; el combustible utilizado; el estándar de desempeño ambiental obligatorio para su comercialización dentro de la UE, dependiendo el año de fabricación del vehículo; y, por último, el cilindraje de este. Para determinar los recorridos vehiculares (actividad) se basan en la velocidad que es categorizada por los límites estipulados para zonas rurales, urbanas e interurbanas. Con estos datos, se asocia a un factor de emisión propio de los vehículos dentro de la UE en base a las condiciones de presión y temperatura, además de la calidad de los combustibles (CORINAIR, 2014).

En el caso particular de la actividad vehicular en Quito, más allá de su incremento anual, existe una oportunidad importante de estimar su operación, por medio de la información proporcionada por los conteos del sistema de semaforización inteligente, dispuesto en buena parte de la zona urbana del Distrito, de tal manera que la actualización podría manejarse periódica y sistemáticamente.

Con todos los antecedentes mencionados el trabajo consiste en realizar la estimación anual de las emisiones provenientes del tráfico vehicular, a partir de: establecer la variación espacio temporal de la operación de las fuentes, asociado al tráfico vehicular, discriminando por el tipo de vehículo, conforme lo antes anotado; y, seleccionar los factores de emisión más adecuados para el medio, haciendo una revisión crítica de las referencias internacionales que son de uso común a nivel mundial y en la región, pero también las investigaciones locales que aunque en muy limitado número, si se han realizado en los últimos años.



## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Dado que el último inventario de emisiones de Quito utiliza datos del 2011, este esfuerzo, orientado específicamente a las fuentes móviles, posibilitará evaluar la evolución de las emisiones vehiculares, considerando el crecimiento del parque automotor, en contraste con las medidas para optimar el desempeño ambiental de los nuevos vehículos que se comercializan en el país, la calidad de los combustibles de uso vehicular, los controles a los vehículos a través de la Revisión Técnica Vehicular (RTV) y las medidas de gestión urbana y de la movilidad orientadas a disminuir el uso de los vehículos automotores privados en beneficio de la movilidad no motorizada y el transporte público.

El inventario de emisiones de fuentes móviles en el DMQ tomará como año base el 2019 debido a que no se ha realizado uno desde el 2014 y la norma establece que se realice uno cada dos años dicho inventario actualizará métodos de recopilación de datos de distintos parámetros necesarios así también flujos vehiculares en la ciudad, crecimiento poblacional, cantidad de combustible utilizado por kilómetros recorridos, etc.

La metodología para el diseño del inventario se fundamenta en la estimación de la emisión del parque automotor que circula en el Distrito, utilizando el producto de la actividad vehicular por un factor de emisión asociado a cada tipología vehicular.

Para la actividad vehicular se considera la ubicación espacial y la distancia recorrida por cada tipo de vehículo, tomando como punto de partida un mapa de tráfico actual con los datos recopilados de la RTV en el Distrito, el conteo de flujo vehicular realizado por el sistema de semáforos inteligentes ubicados a lo largo de la ciudad, así como conteos manuales realizados in situ en puntos estratégicos donde no se cuenta con la suficiente información tanto de semáforos inteligentes como de datos históricos.

Se estima la emisión de los automotores aplicando factores de emisión obtenidos de estudios técnicos realizados en el país, incluyendo los ensayos realizados en la

Escuela Politécnica Nacional, dentro de la Facultad de Ingeniería Mecánica (Portilla y Caiza, 2010) y la modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres en Quito, Ecuador (Guadalupe, 2016). Complementariamente se utilizará las bases de datos referentes a estudios recientes en México, Colombia y Europa con el objetivo final de rellenar los datos de factores de emisión inexistentes en Ecuador.

La Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, como ente rector de la calidad del aire tiene como uno de sus objetivos generar un inventario de emisiones atmosféricas cada dos años, dado que el mismo no se ha realizado en un lapso de seis años por no poseer una metodología propia del DMQ, se plantea en el presente proyecto una metodología sistematizada para la generación de dicho inventario. El inventario de emisiones es una importante herramienta, que permitirá desarrollar estrategias de monitoreo, prevención y control para disminuir la generación de emisiones, así como planes de mitigación con el fin de controlar los efectos adversos que causan los contaminantes si su concentración sobrepasa el límite máximo recomendado.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

El objetivo general de este trabajo es producir un inventario de emisiones atmosféricas de fuentes móviles en el DMQ con año base 2019, que constituya una mejora cuantitativa y cualitativa con respecto al último inventario desarrollado con datos del año 2011.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para complementar el objetivo general señalado, se han establecido los siguientes objetivos específicos:

- Definir el crecimiento del parque vehicular de Quito, por tipo de vehículos, según el uso y tipo de combustible.

- Establecer la actividad de ese parque vehicular, a través de los perfiles horarios del tráfico vehicular del Distrito Metropolitano de Quito y su distribución espacial mediante un mapa de tráfico vehicular.
- Escoger los factores de emisión a ser utilizados sobre la base de una revisión crítica de las referencias internacionales y las investigaciones locales realizadas.
- Formar la distribución de emisiones proveniente de las fuentes móviles en el DMQ en función del mapa de tráfico vehicular.

#### **1.4. ALCANCE**

La contaminación atmosférica es una problemática mundial que cada vez abarca consigo más consecuencias negativas tanto a nivel medio ambiental como a nivel de salud pública y bienestar personal, es por lo que, en el Distrito Metropolitano de Quito, la Secretaría de Ambiente ha venido desarrollando metodologías, modelos, monitoreos y programas con el afán de crear el inventario de emisiones para los contaminantes criterio del aire como el monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y material particulado de diámetro menor a 2.5 micrómetros y menor a 10 micrómetros, así como para los contaminantes secundarios como el benceno, cadmio y mercurio gaseoso. En este caso se enfocarán todos los contaminantes anteriormente mencionados que sean producto de las actividades generadas por las fuentes móviles del DMQ, tanto automóviles, autobuses, motocicletas y demás transporte pesado.

Dicho inventario de emisiones tiene como principio fundamental dotar a los sujetos de control con datos de la contribución de cada tipo de fuente generadora de contaminantes y además ser una herramienta para estudiar la eficacia de las medidas de control y mitigación sobre la calidad del aire, se ha venido desarrollando desde el año 2003 hasta el 2011 pasando dos años, por lo que es fundamental recopilar datos y desarrollar modelos para el nuevo inventario del 2019 teniendo como base los anteriores inventarios para una comparación efectiva.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE**

En este capítulo se pone en contexto la investigación realizada en el desarrollo del proyecto de titulación, comenzando con el establecimiento del marco teórico de la problemática de la contaminación del aire, desde su origen, hasta su presencia en la atmósfera. En esta revisión teórica se hace énfasis en los inventarios de emisiones, como instrumento de la gestión ambiental, detallando el tema de las emisiones vehiculares, objeto de estudio de esta tesis. Finalmente, se pasa revista a los avances realizados en Quito respecto a los inventarios de emisiones, a fin de evidenciar el aporte que constituye nuestro esfuerzo.

#### **2.1. LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE**

La legislación ecuatoriana define a la contaminación del aire como “la presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente” (MAE, 2015). Químicamente la contaminación se genera cuando la combustión teórica, del carbono y el hidrógeno del combustible se mezclan con el oxígeno existente en el aire para producir calor, luz, dióxido de carbono y vapor de agua (Wark y Warner, 1992). Aunque esta combustión sea esencial para el hombre, las impurezas del combustible, una incorrecta relación entre el combustible y el aire, o temperaturas de combustión demasiado altas o bajas son causantes de la formación de productos secundarios contaminantes de la atmósfera, tales como monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cenizas finas e hidrocarburos no quemados.

Si bien los combustibles fósiles y su quema es la principal fuente de contaminantes del aire, adicionalmente, existen otras: naturales como las erupciones volcánicas o las tormentas de arena; y, antropogénicas como la resuspensión de polvo y partículas desde vías o superficies desprovistas de su cobertura vegetal, las

emisiones evaporativas de depósitos de combustibles y otras sustancias volátiles, el tratamiento de metales y maderas o ciertos procesos industriales e incluso, domésticos (WHO, 2020).

La contaminación del aire se ha convertido ahora en uno de los problemas ambientales más graves del mundo, por lo que la Organización Mundial de la Salud reconoce que es la principal causa de muerte en el mundo. Se estima que 9 millones de personas mueren por enfermedades cardíacas causadas por la contaminación isquémica del aire en interiores y exteriores. Infecciones del tracto respiratorio inferior, accidente cerebrovascular, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y cáncer de pulmón, tráquea o bronquios. (WHO, 2020).

**Tabla No 1** Identificación de individuos sensibles por tipo de contaminante del aire

Contaminante	Individuos sensibles
Ozono	Niños que pasan tiempo al aire libre, adultos que hacen mucho ejercicio físico al aire libre y personas con enfermedades respiratorias (como asma).
Material particulado	Personas con enfermedades pulmonares o cardíacas, como asma, obstrucción pulmonar crónica, congestión cardíaca o enfermedades similares. Niños, ancianos y mujeres embarazadas.
Monóxido de carbono	Personas con enfermedades cardiovasculares como angina o enfermedades que afecten al sistema cardiovascular y respiratorio (como insuficiencia cardíaca congestiva, enfermedad cerebrovascular, anemia, obstrucción pulmonar crónica), mujeres embarazadas, fetos y recién nacidos
Dióxido de azufre	Niños, adultos con asma u otras enfermedades respiratorias crónicas y personas que realizan ejercicio físico al aire libre.
Dióxido de nitrógeno	Los niños y los adultos padecen enfermedades respiratorias como el asma.

Fuente: DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, 2011

La información que se presenta fue elaborada dentro del Informe Anual de la Calidad de Aire (Secretaría del Ambiente Quito, 2011) realizado en la base de investigaciones de Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA,

2015) para la clasificación de afecciones a individuos de ciertos contaminantes presentes en la atmósfera.

En relación con la Tabla No 1, la contaminación atmosférica, independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico, existe en todas las sociedades y constituye un fenómeno que tiene un impacto especial en la salud humana. Como se ha dicho, no se restringe únicamente a la contaminación por causas humanas, aunque normalmente se analiza en su mayoría este tipo de contaminación antropogénica (De Nevers, 2000; Pérez, 1998).

## **2.2. LOS CONTAMINANTES DEL AIRE Y SUS EFECTOS SOBRE LA SALUD**

Consistentes con la definición de la contaminación, un contaminante se define como “cualquier sustancia extraña o cuya variación de la concentración en la atmósfera es susceptible, teniendo en cuenta los conocimientos del momento, de provocar un efecto nocivo o de crear un daño o una molestia” (Pérez y Alonso, 1998).

En vista de la gran cantidad de sustancias que caen en la definición anterior, en términos normativos se ha incorporado el concepto de contaminantes criterio del aire para atender las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud sobre las sustancias más comunes, presentes en casi toda ciudad o concentración humana. La Norma Ecuatoriana define a los contaminantes criterio como “cualquier contaminante del aire para el cual, en esta norma, se especifica un valor máximo de concentración permitida a nivel de suelo en el aire ambiente, y por lo tanto afecta a los receptores ya sean personas, animales, vegetación o materiales para diferentes períodos de tiempo” (MAE, 2015). Adicionalmente, la propia Norma identifica a los contaminantes peligrosos del aire, también denominados no convencionales, como aquellos “que pueden presentar una amenaza de efectos adversos en la salud humana o en el ambiente” (ídem), pero para los cuales no existen límites máximos permitidos.

En esta definición, el concepto del valor máximo de concentración permitida es muy importante porque da cuenta de la información científica disponible, sobre los efectos de los contaminantes, que sirve de referencia para que la OMS y las autoridades ambientales nacionales identifiquen las sustancias correspondientes y establezcan los criterios de calidad del aire o norma de calidad, que en el caso ecuatoriano se define como “el valor que establece el límite máximo permisible de concentración, a nivel de suelo, de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, definido con el propósito de proteger la salud y el ambiente. Los límites permisibles descritos en esta norma de calidad de aire ambiente se aplicarán para aquellas concentraciones de contaminantes que se determinen fuera de los límites del predio de los sujetos de control o regulados” (MAE, 2015).

A continuación, se describen los contaminantes no convencionales y los contaminantes criterio identificados en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (NECA), así como los principales efectos nocivos sobre la salud que generan:

### **2.2.1. CONTAMINANTES CRITERIO**

Legislativamente se ha incorporado el concepto de contaminantes criterio del aire, que es “cualquier contaminante del aire para el cual, en esta norma, se especifica un valor máximo de concentración permitida a nivel de suelo en el aire ambiente, y por lo tanto afecta a los receptores ya sean personas, animales, vegetación o materiales para diferentes períodos de tiempo” (MAE, 2015). Son los siguientes:

- Monóxido de carbono (CO): Es el contaminante del aire más abundante, es un gas tóxico, inodoro e incoloro que es parcialmente soluble en agua, etanol y benceno debido a la oxidación incompleta del carbón durante el proceso de combustión.

La información científica establece que esta sustancia afecta el sistema nervioso y neurológico en exposiciones de corto plazo, debido a una deprivación en el

abastecimiento de oxígeno al cerebro por parte del torrente sanguíneo que intoxicado por el CO reemplaza la hemoglobina portada en los glóbulos rojos por la carboxihemoglobina (OMS, 1993).

- Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ): Es un gas incoloro con un olor acre, que se produce por la quema de fósiles (carbón y petróleo) y la fundición de minerales que contienen azufre. La principal fuente antropogénica de  $\text{SO}_2$  es la quema de piedras que contienen sulfuro utilizadas para calefacción doméstica, generación de energía y vehículos de motor.

Según la OMS (2018) El  $\text{SO}_2$  puede afectar el sistema respiratorio y la función pulmonar y causar irritación ocular. La inflamación del sistema respiratorio causa tos, secreción de moco y exacerba el asma y la bronquitis crónica. También aumenta la probabilidad de que las personas contraigan infecciones respiratorias.

- Dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ): Es un gas oxidante y corrosivo de color marrón rojizo con un olor acre picante. Los automóviles que queman combustibles fósiles y los motores de combustión interna son las principales causas de las emisiones de dióxido de nitrógeno, mientras que las emisiones de  $\text{NO}_2$  en interiores se generan. Principalmente de fuentes como cigarrillos, butano, calentadores de queroseno y estufas (OMS, 1993).

Los estudios epidemiológicos de la Organización Mundial de la Salud han demostrado que los síntomas de bronquitis en niños con asma aumentan debido a la exposición prolongada al  $\text{NO}_2$ , y la disminución en el desarrollo de la función pulmonar también está relacionada con la concentración de  $\text{NO}_2$  registrada (u observada) actualmente en las ciudades de Europa y América del Norte (OMS, 2018).

- Ozono ( $\text{O}_3$ ): Es un gas incoloro y altamente irritante que se produce por la reacción fotoquímica entre óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, estos compuestos orgánicos volátiles se producen principalmente al



quemar combustible, vapor de gasolina y disolventes químicos. Es uno de los principales componentes del humo.

Según la OMS (2018), El exceso de ozono en el aire puede dañar seriamente la salud humana, como enfermedades respiratorias, causando asma, disminución de la función pulmonar y enfermedades pulmonares.

- Material particulado (PM): Consisten en una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire, cuyos principales componentes son sulfato, nitrato, amoníaco, cloruro de sodio, hollín, polvo mineral y agua. Los materiales particulados se clasifican según su tamaño, expresado como diámetro aerodinámico:
  - Diámetro aerodinámico menor a 10 micras (PM10): Son pequeñas partículas de polvo sólido o líquido esparcidas en la atmósfera, compuestas principalmente por compuestos inorgánicos (como silicatos y aluminatos, metales pesados, etc.) y partículas relacionadas con las siguientes sustancias Formación de material orgánico: carbono, como cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o varillas (EPA, 2015).
  - El diámetro aerodinámico es inferior a 2,5 micras (PM2,5): son partículas muy pequeñas en el aire cuyo tamaño es menor que el grosor de un cabello humano. Las fuentes son principalmente de origen humano, como las emisiones de los vehículos diésel, que pueden provenir de automóviles, camiones, fábricas, quema de madera y otras actividades (EPA, 2015).
- Partículas sedimentables: se encuentran en la atmósfera como partículas en suspensión, se originan por causas naturales, como erosión del suelo, incendios forestales, lluvia, etc. Se asientan bajo tierra en función de su composición y tamaño, el nivel de lluvia que los lleva y otros factores (Mejía y otros, 2018).

Como indican los autores Fuentes y otros en su investigación durante el 2009, las partículas sedimentables provocan Enfermedades respiratorias que

constituyen importantes problemas de salud, como asma e infecciones respiratorias agudas (IRA) (Fuentes y otros, 2009).

La Organización Mundial de la Salud ha determinado que la relación entre el material particulado y los efectos sobre la salud es extensa, en algunos casos relacionada con síntomas de las vías respiratorias superiores, como reacciones alérgicas, congestión nasal, sinusitis, tos, fiebre del heno, irritación de los ojos, etc. En otros casos, se relacionan con síntomas de las vías respiratorias inferiores y requieren un tratamiento especial, como bronquitis, asma, enfisema, etc. También existen problemas graves, como cáncer de pulmón y anomalías reproductivas (OMS, 2018).

### **2.2.2. CONTAMINANTES NO CONVENCIONALES O PELIGROSOS**

Los contaminantes no convencionales o peligrosos identificados en la NECA son los siguientes:

- Benceno ( $C_6H_6$ ): Es un hidrocarburo aromático, y su estado físico a temperatura ambiente es un líquido incoloro, se evapora rápidamente en el aire, es altamente inflamable y tiene un sabor dulce. Este compuesto es parte de una gran clase de sustancias orgánicas llamadas compuestos orgánicos volátiles (COV).

Es reconocido como cancerígeno. La exposición a dosis altas puede causar la muerte y la exposición a dosis bajas puede causar somnolencia, mareos y taquicardia. La exposición prolongada puede causar anemia, sangrado y deterioro del sistema inmunológico. (Díaz, 2015).

- Cadmio (Cd): Es un metal pesado, blando, de color azul-blanco, generalmente de bajo contenido, generalmente se encuentra en el mineral de zinc y se usa para fabricar baterías (OMS, 2018).

Este elemento y todos sus compuestos son cancerígenos. Según fuentes de la Organización Mundial de la Salud, el cadmio puede viajar largas distancias

desde las fuentes de emisión a través del aire. En moluscos y crustáceos se acumula con intensidad, y en hortalizas, granos y tubérculos que contienen mucho almidón su concentración es ligeramente menor (OMS, 2018).

- Mercurio inorgánico (vapores) (Hg): Como familia de metales de fuentes naturales en el medio ambiente, tiene una variedad de formas químicas. Estas formas químicas tienen diferentes niveles de toxicidad e impacto en la salud humana. La más tóxica es la forma química producida en forma de sal.

Las principales condiciones de salud son el sistema nervioso e inmunológico, el sistema digestivo, la piel y los pulmones, los riñones y los ojos. La inhalación aumenta el riesgo de muerte (OMS, 2018).

### **2.3. ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AIRE**

Para cumplir con el estándar global de la calidad del aire se requiere la formulación de guías para cumplir dichos parámetros dados por el ente de control. Estos documentos se componen de datos generales obtenidos mediante valores promedios de monitoreos realizados en espacios y tiempos establecidos, en la Guía para la Calidad del Aire de la OMS 2018 no se toman en cuenta características exactas de cada región, de esta manera los datos que poseen se toman como valores referenciales y recomendados ya que son valores verificados mediante estudios y pruebas pero que podrían estar sujetos a variaciones dependiendo de diversos factores (OMS, 2018). Posteriormente dentro de cada país se realiza el análisis de las condiciones ambientales, económicas y culturales de cada lugar lo que conlleva a plantear la estructura de una Normativa en base a una Guía, teniendo en cuenta la afirmación de la OMS (1987) “en ciertas circunstancias, puede haber razones válidas para llevar a cabo políticas que resulten en valores de normas por encima o por debajo de los valores guía”.

Dentro de la normativa se incluye el Límite Máximo Permisible (LMP) valor que marca la concentración máxima que puede alcanzar una sustancia, elemento o

contaminante durante cierto tiempo para que empiece a alterar la salud, el bienestar humano y al medio ambiente.

La Tabla 2 enumera los valores máximos permisibles de concentración de contaminantes mencionados en la subsección 2.1.1 de NECA y los valores de referencia recomendados por la OMS. Vale la pena señalar que las regulaciones nacionales y las organizaciones internacionales generalmente mantienen la salud humana, la calidad del aire ambiental, el bienestar del ecosistema y el medio ambiente. Para lograr correctamente estos objetivos, se han determinado los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente en el suelo.

**Tabla No 2** Límites máximos permitidos de los contaminantes criterios del aire según la Norma Ecuatoriana y valores referenciales correspondientes recomendados por la Organización Mundial de la Salud

Contaminante	Promedio de medición	Límite NECA <sup>a</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Guía OMS <sup>b</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>Monóxido de carbono (CO)</b>	1 hora	30000	30000
	8 horas	10000	10000
<b>Ozono (O<sub>3</sub>)</b>	8 horas	100	100
<b>Dióxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O)</b>	1 hora	200	200
	anual	40	40
<b>Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</b>	10 minutos	500	500
	24 horas	125	20
	anual	60	-
<b>Partículas finas (PM<sub>2.5</sub>)</b>	24 horas	65	25
	anual	15	10
<b>Partículas sedimentables</b>	30 días	1 mg/cm <sup>2</sup>	-
	anual	50	20
<b>Partículas gruesas (PM<sub>10</sub>)</b>	24 horas	100	50
	anual	50	20
<b>Benceno</b>	anual	5	(5,0-20,0)
<b>Cadmio</b>	anual	5x10 <sup>3</sup>	(0,1-20) x10 <sup>3</sup>
<b>Mercurio</b>	anual	1	(2,0-10,0) x10 <sup>3</sup>

Fuente: <sup>a</sup> MAE, 2015; <sup>b</sup> OMS, 2006 y OMS, 1999 para el caso del CO y mercurio

Una visión crítica de la información proporcionada por la Tabla No. 2 nos permite señalar que los límites máximos permisibles dictados por la Norma Ecuatoriana de Calidad del aire difieren, no para todos los contaminantes, de los recomendados por la Organización Mundial de la Salud, adaptados para los distintos escenarios que presentamos en el Ecuador.

Debe entenderse que las pautas emitidas por la Organización Mundial de la Salud para contaminantes atmosféricos estándar y no convencionales proporcionan una base para proteger la salud pública de los efectos adversos de la contaminación del aire y eliminar o reducir ciertos contaminantes dañinos o potencialmente dañinos. Causar daño a la salud o el bienestar humanos (OMS, 1987).

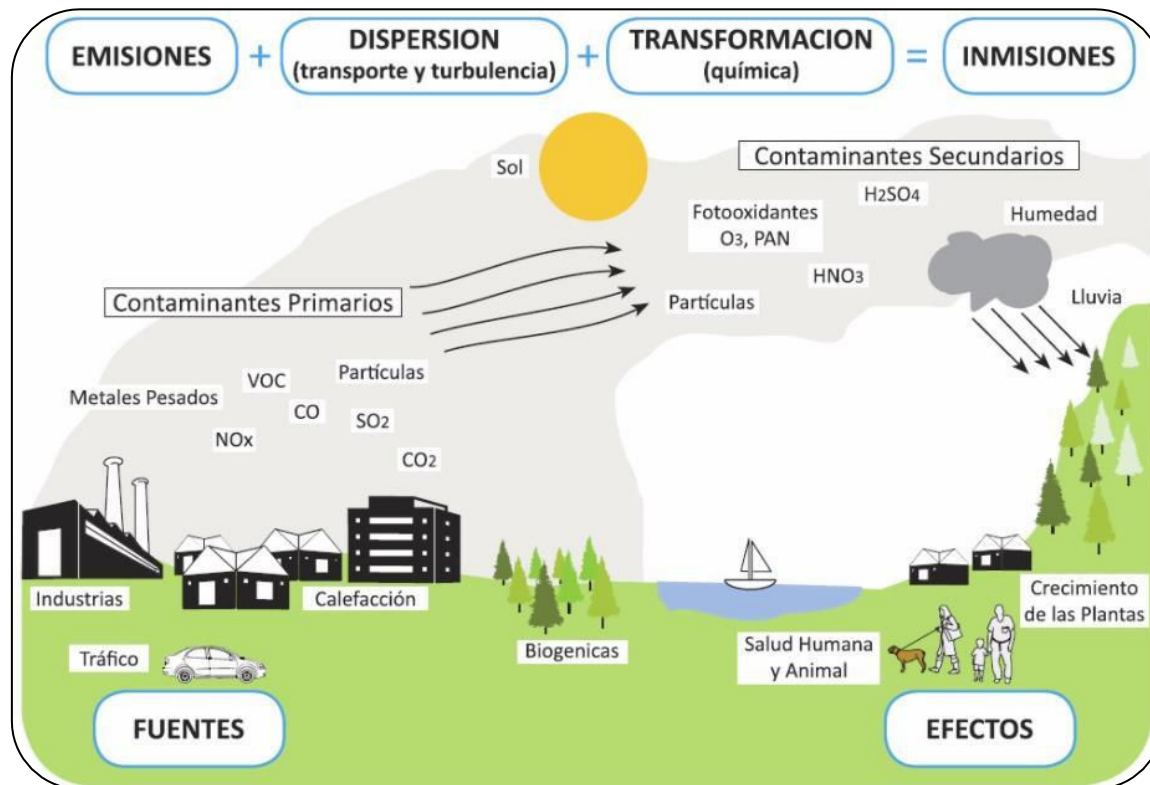
#### **2.4. EL PROCESO DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE**

La contaminación del aire sigue una serie de procesos que conducen a su producción, de los cuales alrededor del 80% de la contaminación del aire es causada por el tráfico de vehículos en los centros urbanos. Los otros porcentajes están relacionados con la quema de combustibles fósiles, que se dan principalmente en procesos u operaciones en los sectores industrial y transporte. En el Grafico No. 1, se describe el problema de la contaminación del aire y los componentes que la causan.

El transporte y dispersión de los contaminantes del aire emitidos desde fuentes naturales o antropogénicas, o formados en la atmósfera por reacciones químicas y fotoquímicas, se produce debido a distintos factores como: el movimiento del viento, las variaciones globales y locales, radiación solar, topografía, precipitación, etc.

A nivel mundial, el cambio climático afectará el movimiento de contaminantes. Por ejemplo, la dirección principal del viento en el centro y norte de América del Sur es de este a oeste, y el viento en el norte y sur de América del Sur es de oeste a este. A nivel más local, los principales factores de transporte y dispersión son el viento y la estabilidad. (Pérez & Alonso, 1998).

**Gráfico No 1** Proceso de la contaminación del aire



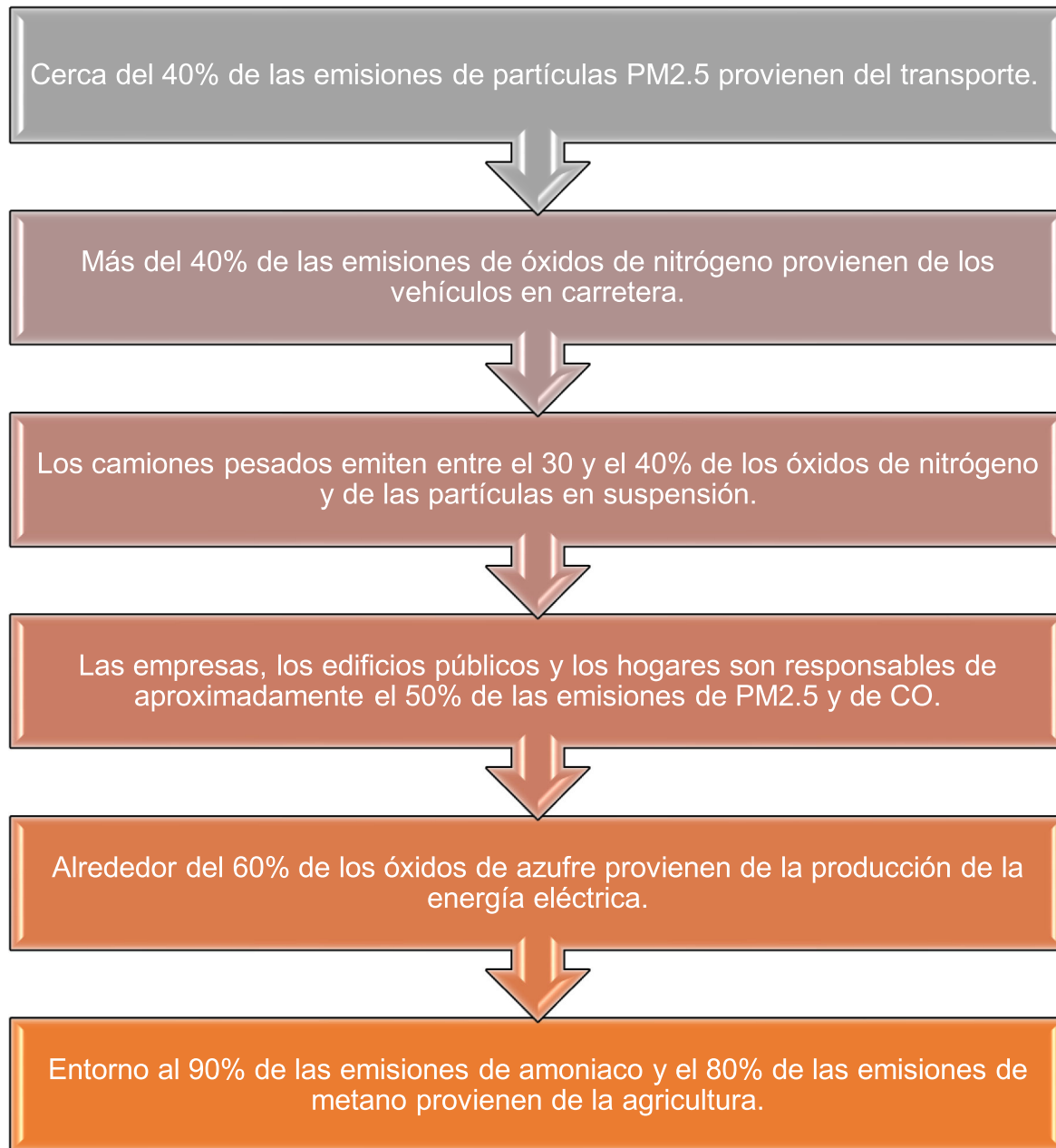
Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2020

El llamado ciclo de estancia aérea es el fenómeno en el cual se emite un contaminante y este es transportado, disperso o concentrado en la atmósfera de acuerdo con las condiciones meteorológicas o topográficas presentes en el lugar de emisión. Dicho ciclo está compuesto por:

#### 2.4.1. EMISIÓN

El principal motivo del aumento de contaminantes vertidos a la atmósfera se debe en gran parte al enorme desarrollo del nivel industrial, el aumento de la superficie del pavimento y la gran cantidad de contaminantes vertidos a través del tubo de escape del coche (Requena A. et al, s/f). La emisión de contaminantes proviene de distintos tipos de fuentes, tanto de actividades antropogénicas como de industrias, fábricas, automóviles, o de procesos naturales como erupciones volcánicas, material que transporta el viento. A nivel mundial la emisión de contaminantes al aire presenta de manera general los datos estadísticos expuestos en el Gráfico No 2.

**Gráfico No 2** Estadísticas sobre distribución de emisión de contaminantes a nivel mundial



Fuente: Agencia Europea del Medio Ambiente, 2015

Analizando la Gráfico No. 2 se observa que existen diferentes tipos de fuentes emisoras de contaminación atmosférica considerados de tal manera por ser elementos u objetos que debido a su uso generen ciertas sustancias contaminantes del aire. Dichas fuentes emisoras se clasifican en dos grandes grupos:

### **a. Fuentes naturales**

Contaminantes producidos por la digestión anaeróbica y aeróbica de sistemas naturales, también se generan por volcanes, océanos, plantas, suspensiones de suelo. Especialmente todo lo que emite la vegetación y las actividades microbianas en el suelo y el océano. Las emisiones antropogénicas más comunes incluyen óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no metálicos, metano, dióxido de carbono y monóxido de carbono, y compuestos de nitrógeno y azufre (Velasco 2001).

### **b. Fuentes antropogénicas**

Aquellas que provienen directamente de las actividades realizadas por ser humano o manufacturadas por él, las cuales son de dos tipos:

- Fuentes móviles

Son emisiones no fijas y por tanto de difícil control, como la emisión de vapores o gases provocados por fugas, derrames, manipulación de materiales, etc., que se difunden en la instalación antes de ser vertidos a la atmósfera.

- Fuentes fijas

Son esos lugares donde suelen tener una ubicación específica en la atmósfera, como chimeneas, torres de humo, etc. Estas emisiones están localizadas y por lo tanto, son fáciles de controlar y medir. Por tanto, cuando nos referimos a los puntos donde las emisiones industriales entran a la atmósfera, estamos hablando de fuentes estacionarias.

## **2.4.2. COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES EN LA ATMÓSFERA**

La concentración de contaminantes atmosféricos depende fundamentalmente de las condiciones de difusión de la atmósfera. El transporte de contaminantes en el aire depende de las condiciones atmosféricas y meteorológicas (turbulencia atmosférica, velocidad y dirección del viento, radiación solar, etc.). La difusión de



diferentes tipos de contaminantes puede provocar la acumulación en áreas cercanas a las fuentes de emisión o transportar estos contaminantes a áreas más o menos remotas (Gobierno de Aragón, 2014).

#### **a. Viento**

El viento es el aire en la atmósfera en movimiento. Cuando la temperatura de las dos masas de aire es diferente, la más caliente es más ligera y se eleva que la otra. El frío se hizo más espeso. En estos movimientos se forma una gran corriente de aire que es fundamental para renovar la atmósfera, esparcir los contaminantes y reducir la contaminación. (EPA, 2018).

La velocidad del viento afecta la concentración de contaminantes en un área de diferente manera:

- A mayor velocidad del viento, menor será la concentración de contaminantes.
- Dispersa los contaminantes en el área cercana además de diluir a los mismos.

#### **b. Estabilidad atmosférica**

La termodinámica de la atmósfera estudia su comportamiento (estable o inestable) en función de la diferencia térmica entre el ascenso de una masa de aire y el entorno circundante.

Cuando una masa de aire sube, su temperatura debe ser más alta que la temperatura del aire circundante, por lo que su densidad disminuirá, tendrá flotabilidad positiva y seguirá aumentando. Este fenómeno se llama atmósfera inestable. Si el aumento de la calidad del aire alcanza un estado más frío que el aire circundante debido al enfriamiento, dejará de ascender porque es más denso que el aire circundante y luego descenderá. Este fenómeno se llama atmósfera estable. (Miquel T, 2012).

### **c. Radiación solar**

La radiación solar no solo calienta la atmósfera planetaria, sino que también provoca importantes cambios fotoquímicos debido al inicio de procesos químicos, es decir, el impacto intermolecular de las velocidades de reacción en todo el rango, dando como resultado un desequilibrio químico en los contaminantes presentes (Seinfeld & Hech, 1998). Contribuye en la generación de ozono, por permitir la reacción de vapores orgánicos con los óxidos de nitrógeno.

### **d. Precipitación**

Es propicio para la aparición de contaminantes secundarios peligrosos, como sustancias que provocan la lluvia ácida. La precipitación tiene un efecto beneficioso porque arrastra las partículas contaminantes del aire y ayuda a minimizar las partículas generadas en actividades como la construcción y ciertos procesos industriales (Miquel, 2012).

### **e. Topografía**

Las grandes ciudades con terrenos complejos, como valles o montañas, a menudo encuentran altas concentraciones de contaminantes del aire (Martínez, 2004). Existen factores topográficos y meteorológicos los cuales influyen directamente en la contaminación atmosférica (Aranda & Romero, 1989), entre los cuales existen:

- Edificaciones.
- Vientos: dirección y velocidad.
- Lluvia.
- Presión barométrica.
- Espacio de difusión (área y altura por la cual se mueven los contaminantes).

Cuando los contaminantes se descargan a la atmósfera a través de transmisores fijos o móviles, se dispersan en diferentes capas de la atmósfera. Con el fin de correlacionar el movimiento de contaminantes en el proceso de emisión, se creó un modelo de difusión, que calcula la emisión en cualquier punto de un área

determinada, extrapolando así el punto determinado a miles de lugares. Además de reproducir el estado actual de las emisiones, estos modelos también pueden predecir el estado futuro de las concentraciones de contaminantes atmosféricos. (Represa, 2011).

Generalmente, el banco de datos más importante para los modelos de dispersión son los valores de las fuentes de emisión, y como resultado y procesamiento de dichos valores se genera datos para las inmisiones. Represa (2011) afirma que “el modelo de dispersión es entonces el eslabón entre el inicio (emisión) y el final calculado (inmisión) del contaminante”.

Los modelos de dispersión que se detallarán a continuación se clasifican según la resolución de las ecuaciones del movimiento que a su vez describen matemáticamente los procesos atmosféricos.

Existen diferentes grupos de modelos, según las diferentes condiciones, una posibilidad de dividirlos se basa en la forma en que resuelven las ecuaciones de movimiento, que describen matemáticamente los procesos en la atmósfera (Blasser, 2000). Por lo que se describen tres tipos de modelos:

- Modelo dinámico: resuelve las ecuaciones de movimiento con precisión. Para obtener los resultados de las ecuaciones matemáticamente, requieren cálculos iterativos y, por lo tanto, requieren muchos recursos informáticos.
- Modelos empíricos: se basan en el uso de métodos estadísticos.
- Modelos estacionarios: Se ocupan de las ecuaciones de movimiento con condiciones restrictivas y simplificaciones, proporcionando así una resolución analítica para estas ecuaciones.

### **2.4.3. INMISIÓN**

El proceso de inmisión de contaminantes se da cuando la concentración de estos llega a nivel del suelo con lo que puede llegar a afectar a las personas, animales, vegetación e inclusive materiales (OMS, 2000).

El nivel de inmisión o la calidad del aire determina el impacto de los contaminantes en la salud o el medio ambiente. Además, la cantidad de contaminantes en la atmósfera dependerá de la diferencia entre los contaminantes emitidos y generados en la atmósfera y los contaminantes eliminados mediante el proceso de autodepuración a través de la deposición, precipitación y absorción del suelo, agua y vegetación (Ayuntamiento de Madrid, 2018).

#### **2.4.4. GESTIÓN**

Para controlar y prevenir estos efectos adversos, se proporcionan herramientas como los sistemas de vigilancia, que tienen objetivos específicos y suelen tener múltiples funciones, el objetivo principal es asegurar la máxima cantidad de información con el mínimo esfuerzo. (OMS, 2000).

El monitoreo requerido para un control óptimo de la calidad del aire considera la relación entre los datos recolectados y la información que se obtendrá de ellos. Esta consideración enfatiza la necesidad de que los usuarios actuales y potenciales intervengan en el plan de investigación, no solo para asegurarse de que se adapten a sus necesidades, sino también para justificar la asignación de recursos (ídem).

Generalmente se ubican variasn estaciones de monitoreo de la calidad del aire las cuales se posicionan con representatividad poblacional Ubicado en un área urbana con un diámetro de al menos 2 kilómetros. La red de monitoreo se conforma por un comité tripartito compuesto de las siguientes unidades, (WHO, 2003):

- Unidad de Aseguramiento de la Calidad: encargada de brindar soporte a la unidad de monitoreo con recursos y equipos.
- Unidad de Control: encargada de la trazabilidad, la calibración y el cruzamiento de resultados entre sus equipos y otros de referencia.
- Unidad Informativa: brindar disponibilidad de datos y realizar análisis de la información recolectada, generando modelos informativos de contaminación.

El comité mencionado, toma en cuenta herramientas que ayudan de soporte a la teoría planteada, Esto inició el establecimiento de un modelo de clima atmosférico

y preparó un modelo de contaminación atmosférica para el departamento que evalúa la calidad del aire. Para dicho análisis según la EPA, se requiere del estudio previo de diversos factores como:

- Ubicación de fuentes emisoras
- Distribución espacial de las concentraciones del contaminante, ciclos horarios, transporte, formación del contaminante.
- Condiciones meteorológicas y climáticas, fenómenos climáticos, radiación solar, humedad relativa, topografía.
- Densidad de la población
- Inventario de las fuentes de emisión fijas y móviles anteriores.

## 2.5. ÁREA DE ESTUDIO

### 2.5.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El Distrito Metropolitano de Quito está ubicado en la provincia de Pichincha al norte del Ecuador. Se encuentra dividido por 9 administraciones zonales compuestas de 32 parroquias urbanas y 33 parroquias rurales y suburbanas (Secretaría de territorio, Hábitat y vivienda, 2012).

Parroquias del DMQ categorizadas por administraciones zonales, Tabla No 3.

**Tabla No 3** Zonas administrativas DMQ

Zonas administrativas	
Manuela Sáenz	Centro Histórico, San Juan, Itchimbía, La Libertad, Puengasí
Turística La Mariscal	La Mariscal, El Girón, La Floresta, La Colón y La Paz. La Mariscal, El Girón, La Floresta, La Colón y La Paz.
Eloy Alfaro	La Argelia, Chimbacalle, La Magdalena, Chilibulo, San Bartolo, La Mena, La Ferroviaria, Solanda, Lloa
Quitumbe	Chillogallo, Guamaní, Quitumbe, Turubamba y La Ecuatoriana.

Zonas administrativas	
La Delicia	Nanegal, Nanegalito, Pacto, Gualea, Calacalí, San Antonio de Pichincha, Pomasqui, Nono, El Condado, Comité del Pueblo, Carcelén, Ponceano, Cotocollao
Los Chillos	Conocoto, Pintag, Amaguaña, Alangasí, Guangopolo y La Merced.
Tumbaco	Tumbaco, Cumbayá, Pifo, Yaruquí, El Quinche, Puembo, Checa y Tababela.
Calderón	Calderón, Llano Chico
Eugenio Espejo	Concepción, Cochapamba, Kennedy, El Inca, Jipijapa, Belisario, Quevedo, Rumipamba, Iñaquito, Mariscal Sucre, Nayón, Zámbriza, Atahualpa, Chavezpamba, Perucho, Puéllaro, San José de Minas, Guayllabamba

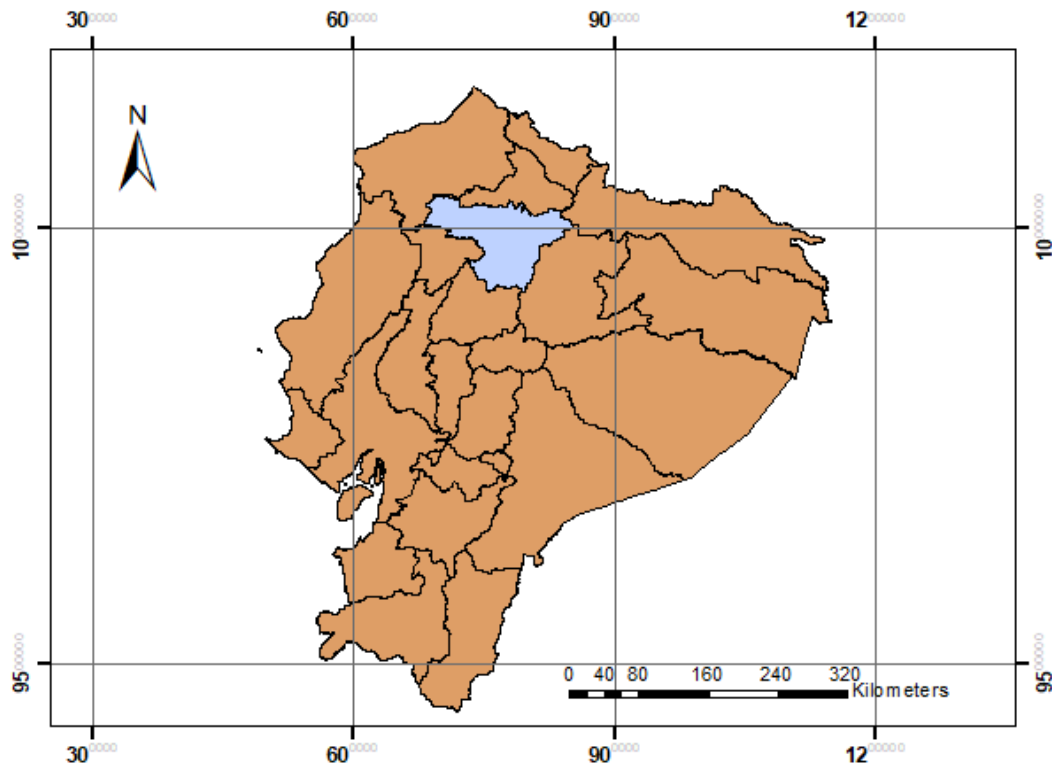
Fuente: Municipio de Quito

Dentro del presente trabajo de investigación en el apartado 2.6.1. MONITOREO E INFORMACIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE EN QUITO, se menciona la Red Automática (RAUTO), la cual ubica sus puntos de monitoreo dentro de cada una de las administraciones zonales anteriormente mencionadas.

En los siguientes gráficos se muestra un acercamiento a la Provincia de Pichincha para reconocer el tamaño al cual hace referencia el presente trabajo. En el Gráfico No 4 se observa que el Distrito Metropolitano de Quito es en gran parte el 60% de toda la provincia, por lo que la cantidad de datos recolectados será fuente importante para un posible enfoque a las periferias del distrito.

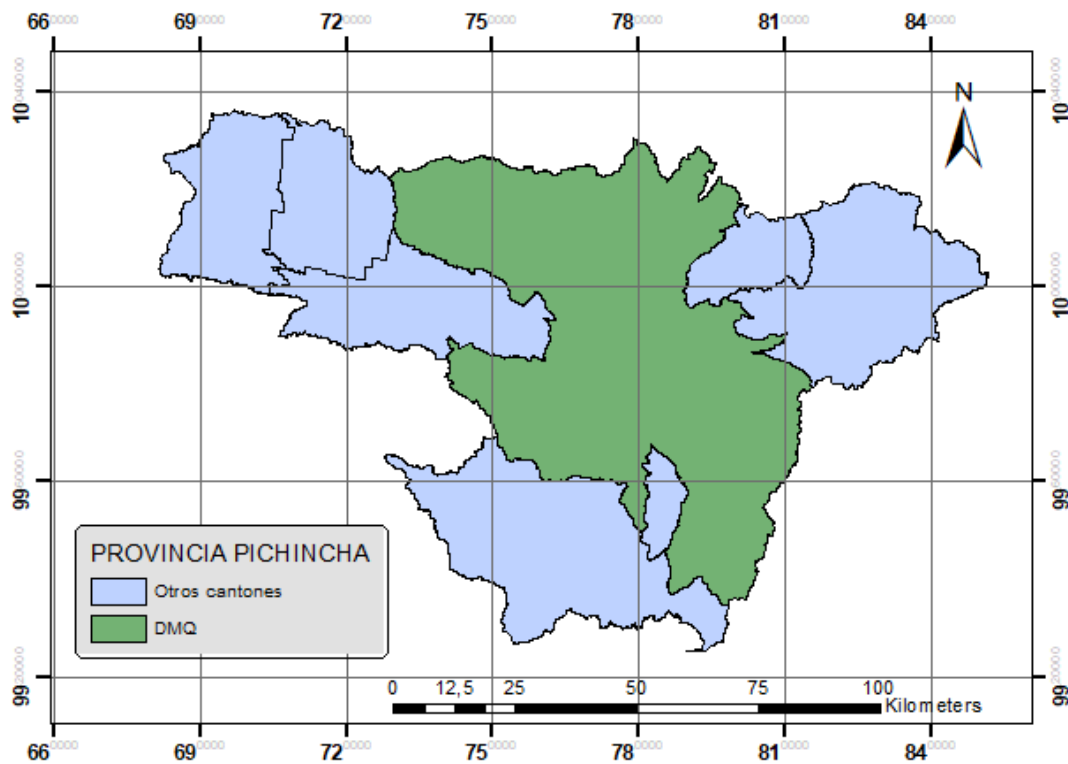
La provincia de Pichincha por albergar a la capital del país es la que más movimiento recepta, con lo cual la cantidad de personas y vehículos que ingresan y salen genera un desequilibrio en la movilidad.

**Gráfico No 3** Ubicación de Pichincha en el Ecuador



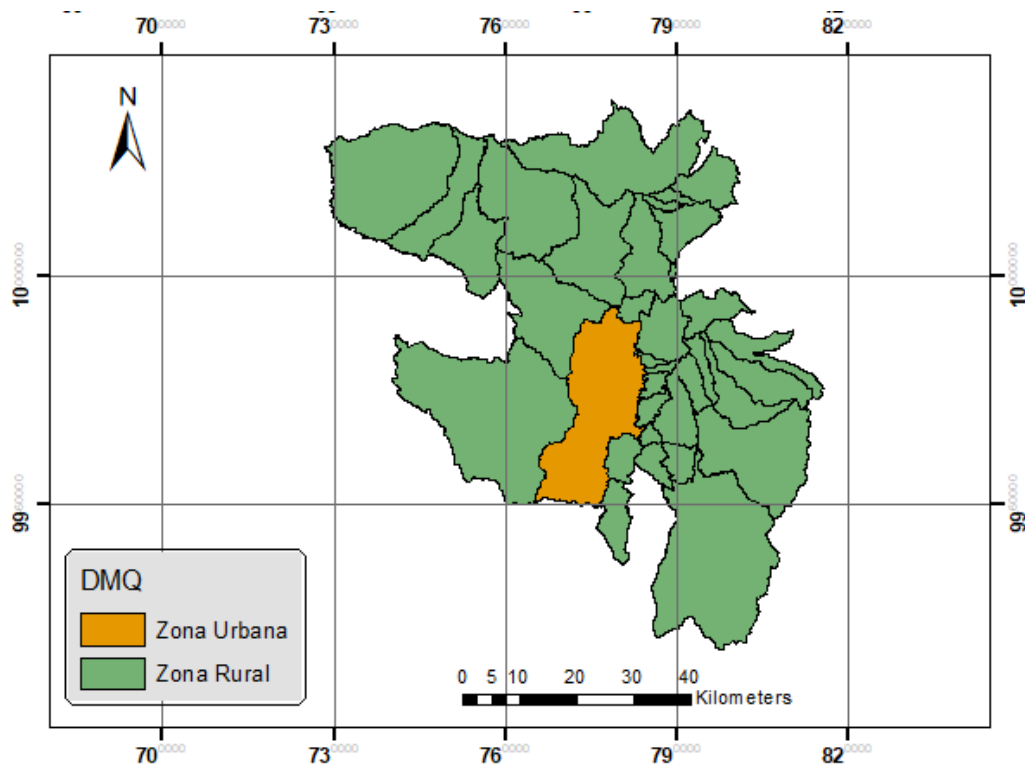
Fuente: Municipio de Quito

**Gráfico No 4** División de Pichincha entre DMQ y otros cantones



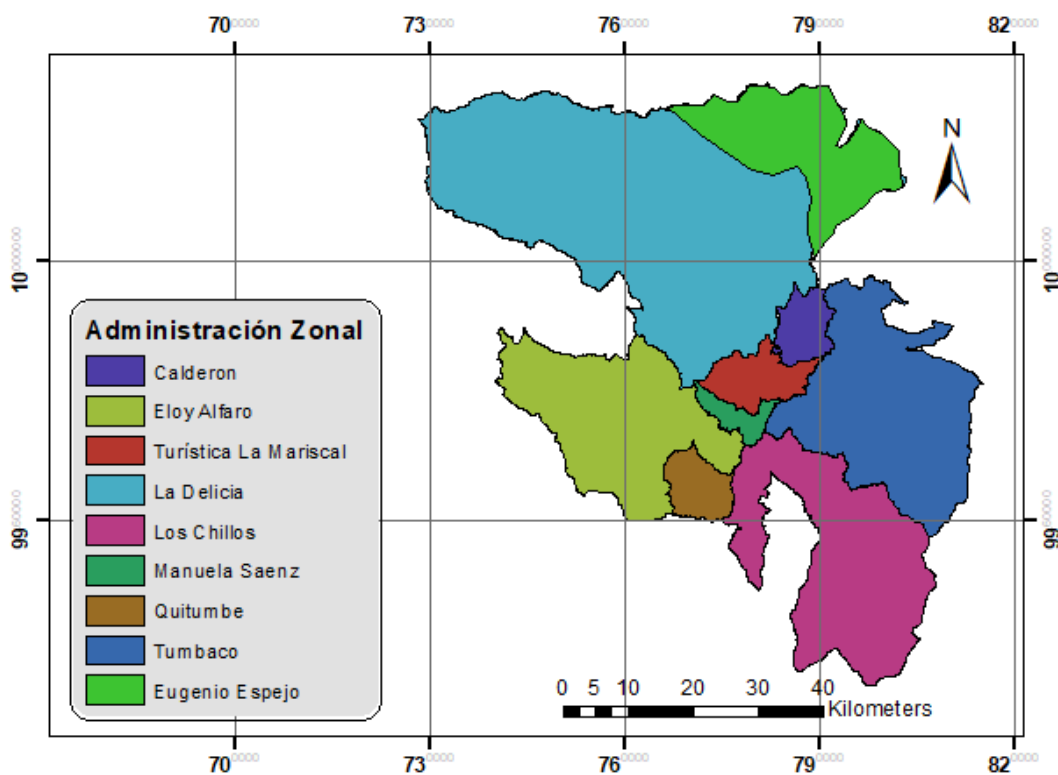
Fuente: Municipio de Quito

**Gráfico No 5** Clasificación del DMQ en zona urbana y rural



Fuente: Municipio de Quito

**Gráfico No 6** Administraciones zonales del DMQ



Fuente: Municipio de Quito



En el Gráfico No 6 se representa gráficamente las administraciones zonales que componen al DMQ, éstas también sirven para una buena planificación y ordenamiento territorial.

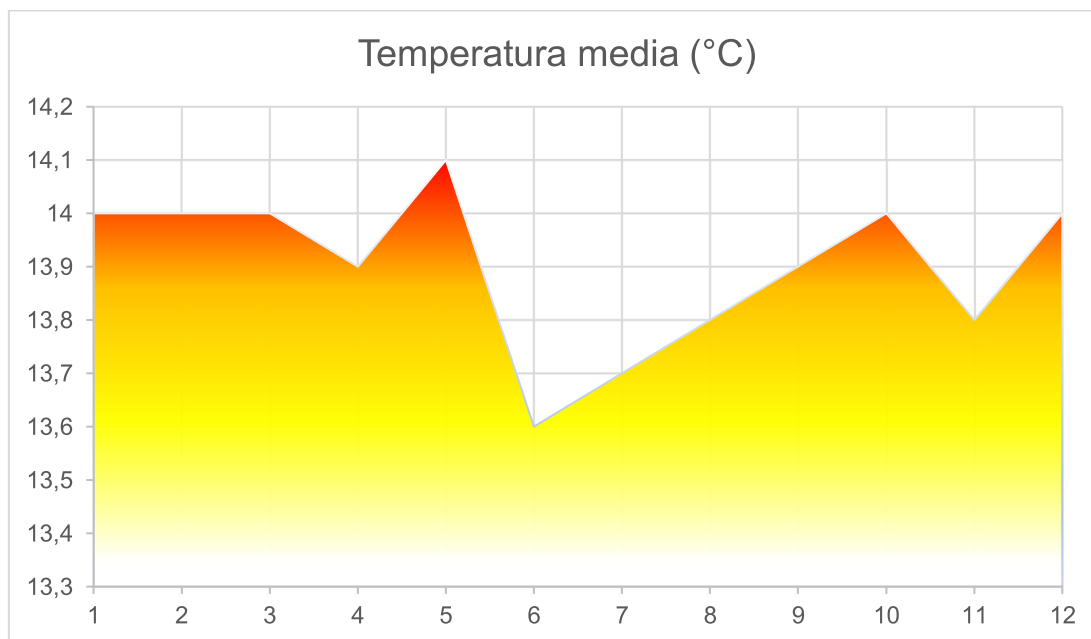
### 2.5.2. CONDICIONES METEOROLÓGICAS

América Latina cuenta con diversas cadenas montañosas, una gran variedad de climas y se extiende sobre un rango de latitudes, el Ecuador se encuentra atravesado por la Cordillera de los Andes donde se encuentran glaciares y volcanes importantes, así como, planicies que albergan las poblaciones rurales más grandes de la región (Calvo et al., 2013).

- **Temperatura**

De acuerdo con el Atlas ambiental del Distrito Metropolitano de Quito del 2016, (Narváez & Jiménez, 2016), “el área de Quito debido a su altitud corresponde a una zona ecuatorial templada, en la que las variaciones de temperatura durante el día, según las horas, son muy significativas”.

**Gráfico No 7** Temperatura media DMQ, año 2019



Fuente: Secretaria de Ambiente DMQ, 2019

La temperatura difiere no por muchos grados en las distintas zonas de la ciudad, debido a la franja altitudinal en la que se encuentra, por esta razón los valles de los Chillos y de Tumbaco poseen valores más cálidos que los del hipercentro del distrito.

**Tabla No 4** Temperatura DMQ, 2019

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	14	14	14	13,9	14,1	13,6	13,7	13,8	13,9	14	13,8	14
Temperatura mín. (°C)	7,7	8	8,1	8	8	7,1	6,7	6,6	6,8	7,5	7,3	7,6
Temperatura máx. (°C)	20,4	20,1	20	19,9	20,2	20,2	20,7	21,1	21,1	20,6	20,4	20,5

Fuente: Secretaria de Ambiente DMQ, 2019

La variabilidad de la temperatura en la Tabla No 4 se debe a los procesos internos naturales dentro del sistema climático o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (Narváz & Jiménez, 2016).

- **Velocidad del viento**

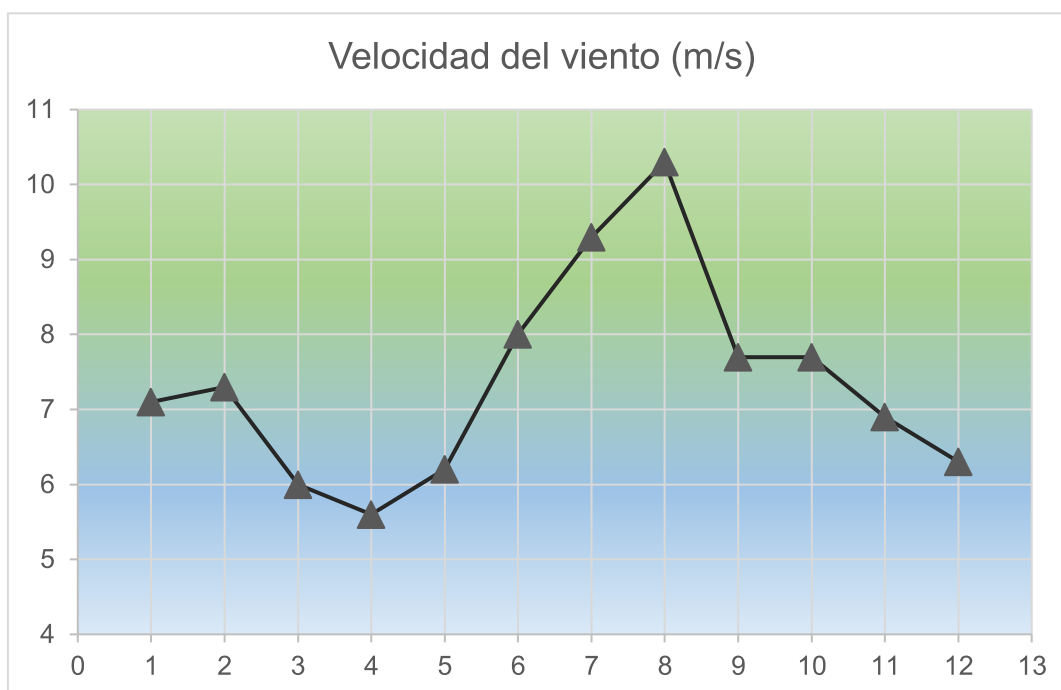
La conducta de los vientos se incrementa de forma fundamentalmente proporcional al nivel. Según Serrano Chano (2010), los valores de viento alcanzan su más alto a los 5000 msnm y dos mínimos a las alturas de 150 msnm y 3500 msnm.

En el análisis sobre los datos de la red REMMAQ con datos de 7 años (2004-2011), se evidencia que la dirección del viento está marcada por las elevaciones, siendo los más representativos esos que provienen del noroccidente en dirección oeste este, para luego hallarse con una región de convección del nororiente, provocada

por el tipo de suelo con menor cobertura vegetal, definida por la realidad de rellenos volcánico-sedimentarios (Secretaría de Ambiente, 2011).

El cañón del Guayllabamba actúa como un regulador del clima ecuatorial, por él se desplazan las masas de aire caliente y húmedo. En el Gráfico No 8 se presenta la época más ventosa del año dentro del periodo de mayo hasta agosto.

**Gráfico No 8** Velocidad del viento

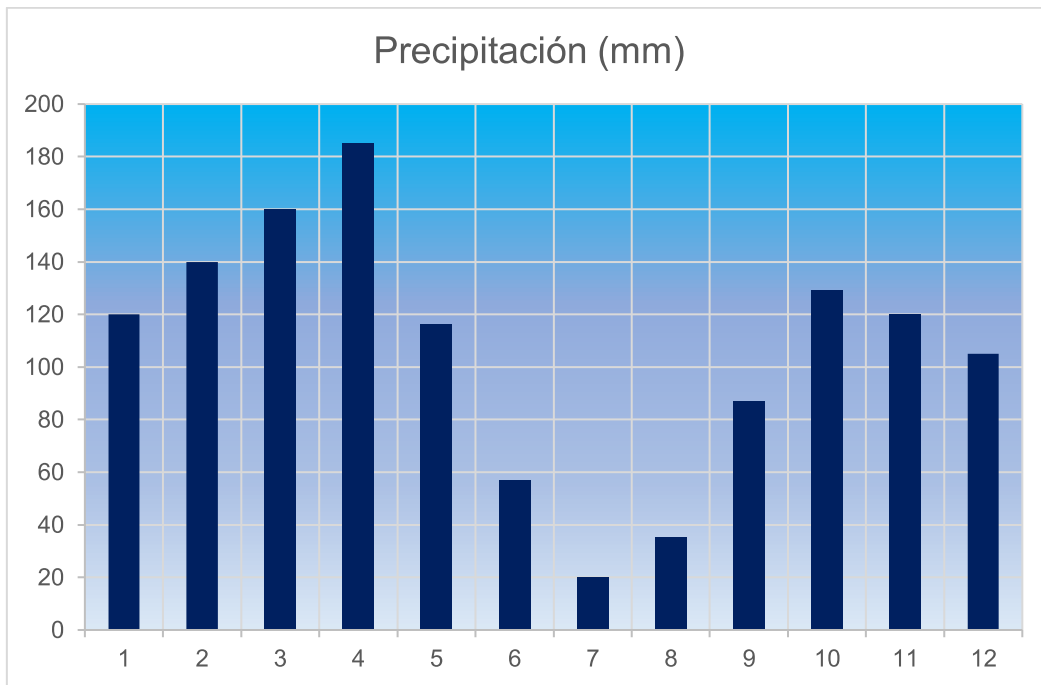


Fuente: Secretaria de Ambiente DMQ, 2019  
Elaborado por: Endara B.

- **Precipitación y humedad relativa**

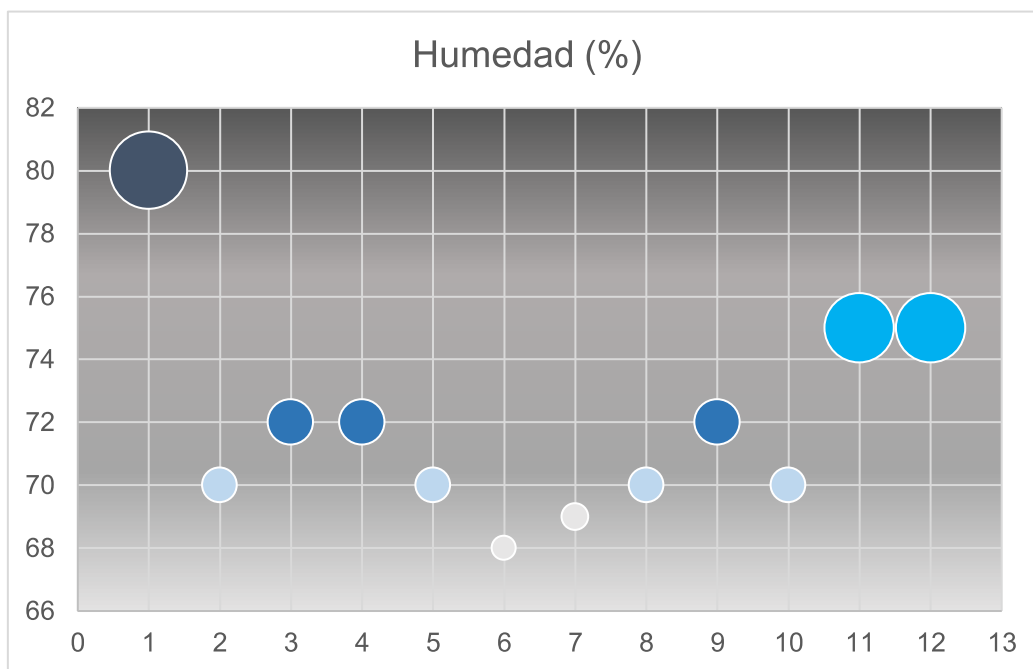
La temporada de lluvias es de octubre a mayo y el mes más lluvioso es abril. La humedad relativa cambia poco, alrededor del 76%, y la presión atmosférica promedio es de 548 mbar. En diferentes puntos de la ciudad, las precipitaciones alcanzan mayor rango, como en la zona sur de la capital y en el valle.

**Gráfico No 9** Precipitación media DMQ, 2019



Fuente: Secretaria de Ambiente DMQ, 2019  
Elaborado por: Endara B.

**Gráfico No 10** Humedad relativa DMQ, 2019

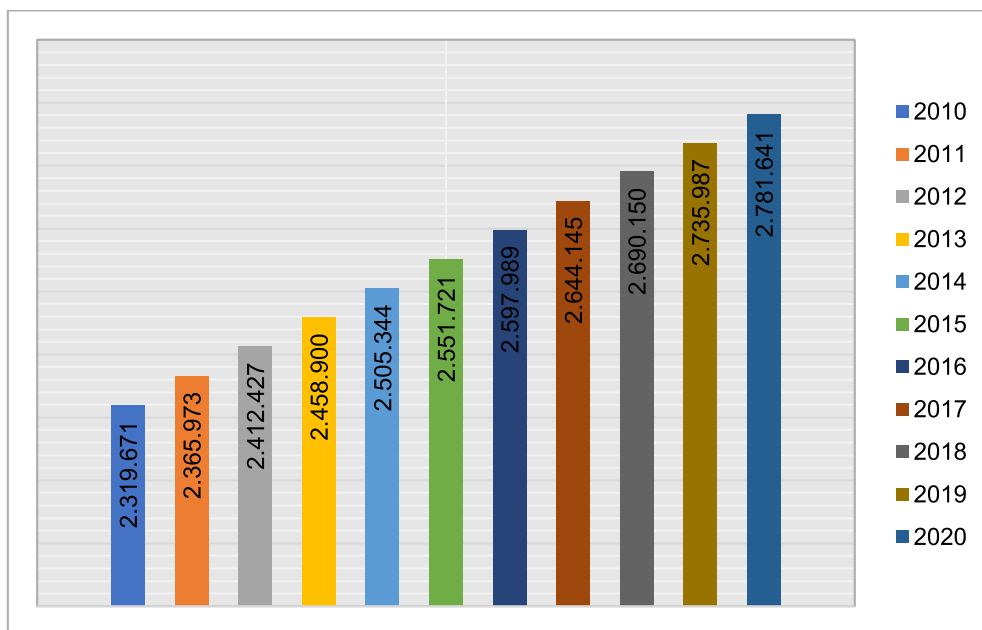


Fuente: Secretaria de Ambiente DMQ, 2019  
Elaborado por: Endara B.

### 2.5.3. DEMOGRAFÍA

Según el último censo realizado en el 2010, la población del DMQ fue de 2'239.191 de personas, las cifras ya actualizadas indican en 10 años un incremento a 2'781.641 habitantes (INEC, 2020).

**Gráfico No 11** Evolución histórica poblacional

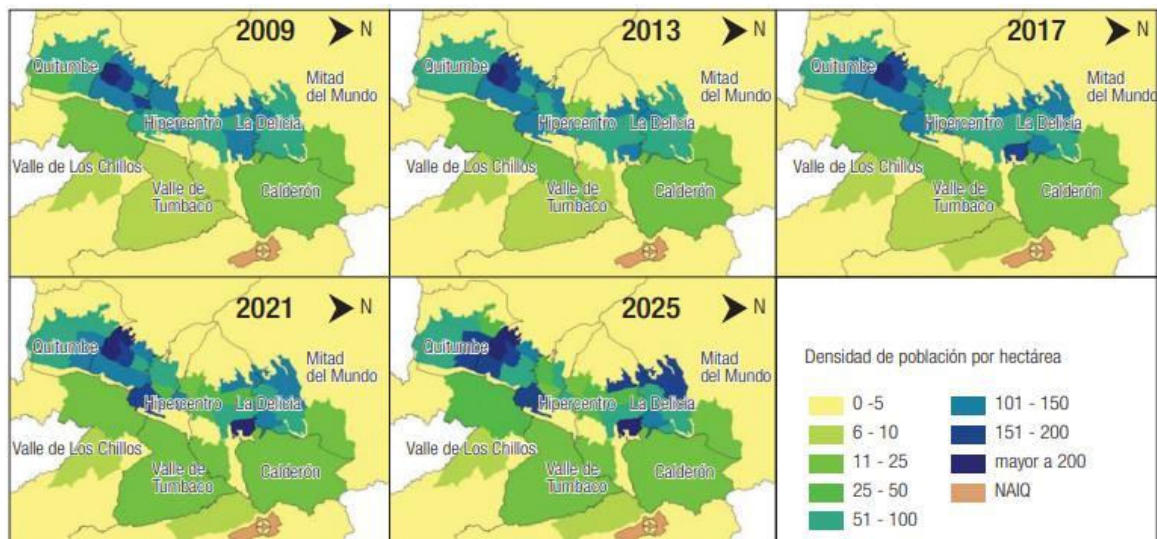


Fuente: Municipio de Quito  
Elaborado por: Endara B.

Según el censo del área metropolitana de Quito, el DMQ representa el 86% del crecimiento de la población provincial, las áreas rurales tienen la mayor población, mientras que las áreas rurales tienen una tasa de crecimiento más lenta.

En el Gráfico No 12 la proyección identifica que para el 2025, la densidad del valle en el este aumentará significativamente, especialmente en el área cercana al nuevo Aeropuerto de Quito, mientras que, en el área central de la ciudad de Quito, la densidad disminuirá, lo que significa que actualmente se está produciendo una migración de población al valle.

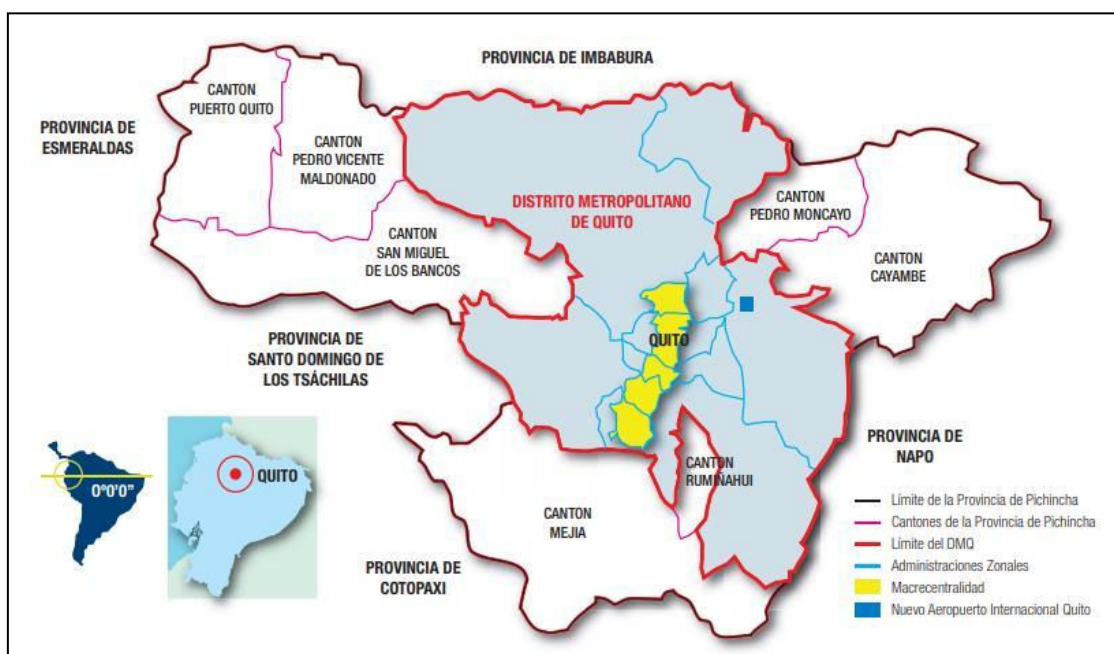
**Gráfico No 12** Evolución histórica poblacional por Administraciones Zonales



Fuente: DMPT – MDMQ. INEC Censo 2010  
Elaboración: DMT – 2008

El Distrito Metropolitano de Quito tiene una superficie de 423.000 has., de las cuales, 18.860, corresponden a la centralidad o ciudad de Quito, ubicada en una franja altitudinal de 2.850 msnm. El Gráfico No 13 muestra esa ubicación y la relaciona con las circunscripciones vecinas.

**Gráfico No 13** Localización del hipercentro en el DMQ

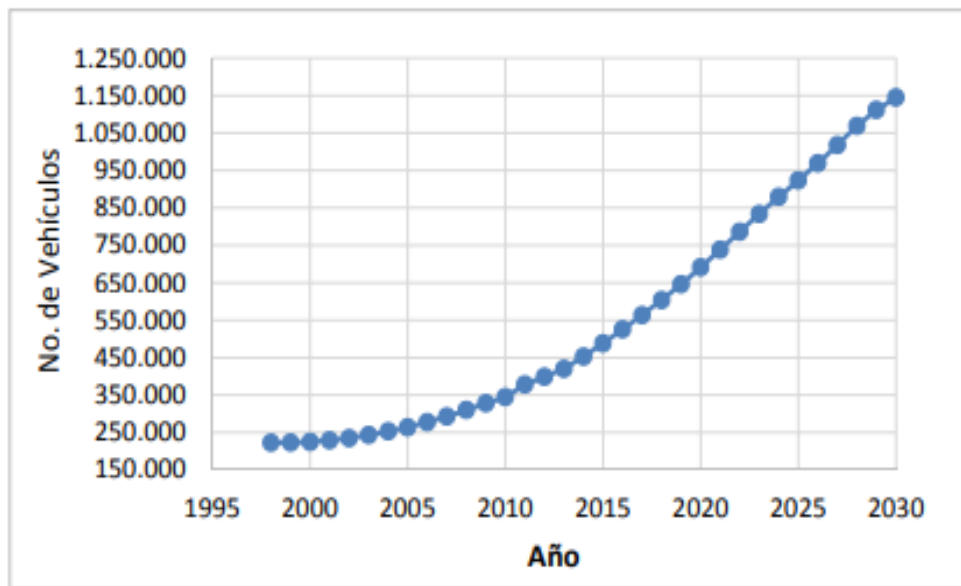


Fuente: DMPT – MDMQ. INEC Censo 2010  
Elaboración: DMT – 2008.

#### 2.5.4. MOVILIDAD

Según el último informe que se lanzó por parte de la Secretaría de Movilidad del DMQ, el parque vehicular tendría una proyección de aproximadamente 1'140.000 vehículos para el 2030 (Secretaría de Movilidad, 2015).

**Gráfico No 14** Proyección de incremento de vehículos hasta el año 2030

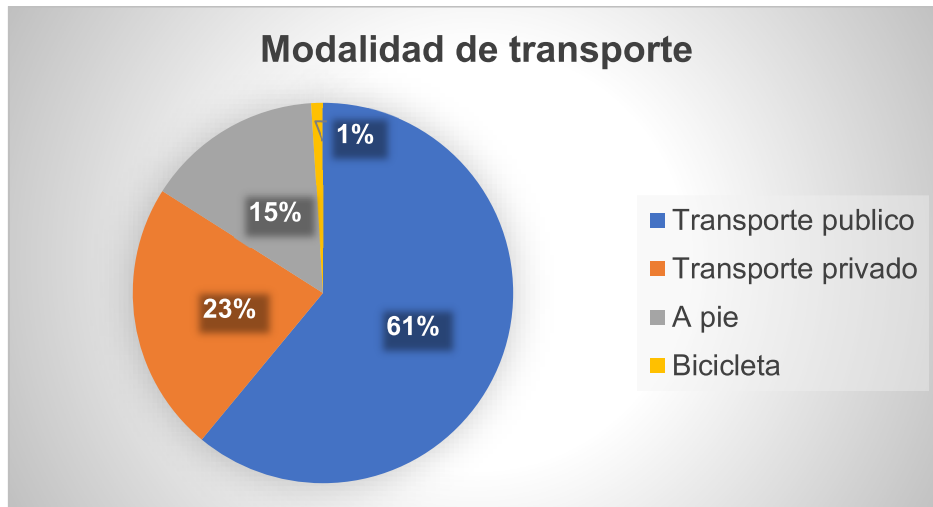


Fuente: Secretaría de Movilidad, 2015

El área metropolitana de Quito tiene una población de 2.239.191 personas y el número total de viajes globales es de 4.600.000, se refiere al movimiento desde el punto de partida hasta el destino y un medio de transporte específico por motivos específicos. Los viajes se distribuyen en diferentes modos de transporte, públicos o privados, y en diferentes categorías. En el Gráfico 15, se detalla el modo prioritario de migración para los residentes en el distrito. (Secretaría de Movilidad, 2015).

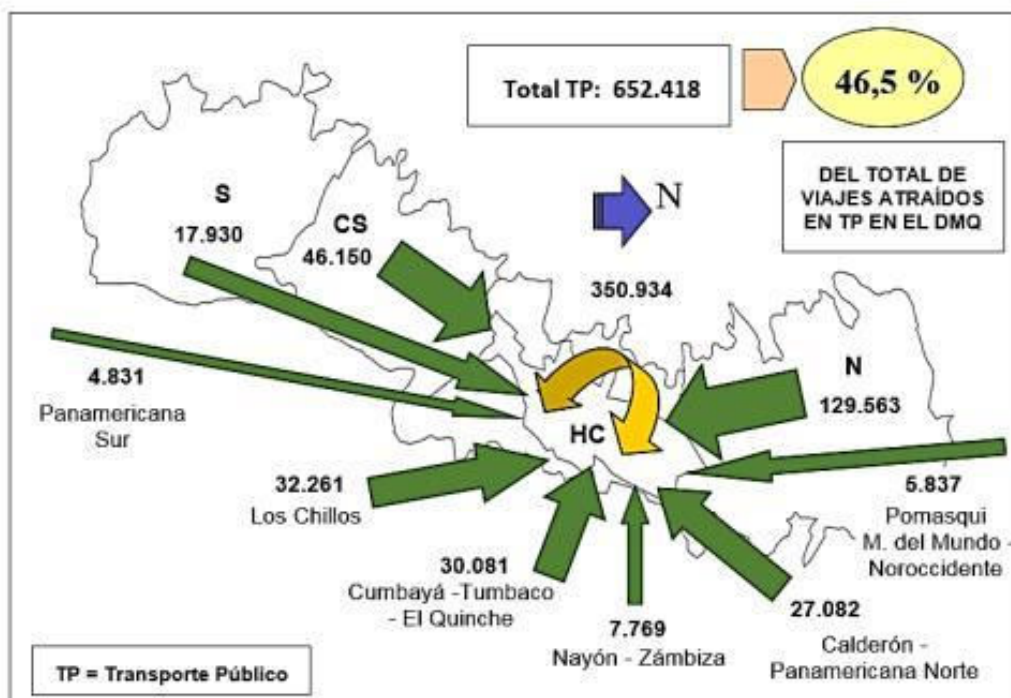
El transporte público representa el 61%, mientras que el privado el 23%. Los porcentajes de movilidad alternativos como la bicicleta y caminando ocupan un 13% y 1% respectivamente.

**Gráfico No 15** Proporción de la distribución modal de viajes desglosada por modos de transporte



Fuente: Secretaría de Movilidad, 2015  
Elaborado por: Endara B.

**Gráfico No 16** Número de viajes por día atraídos en transporte público



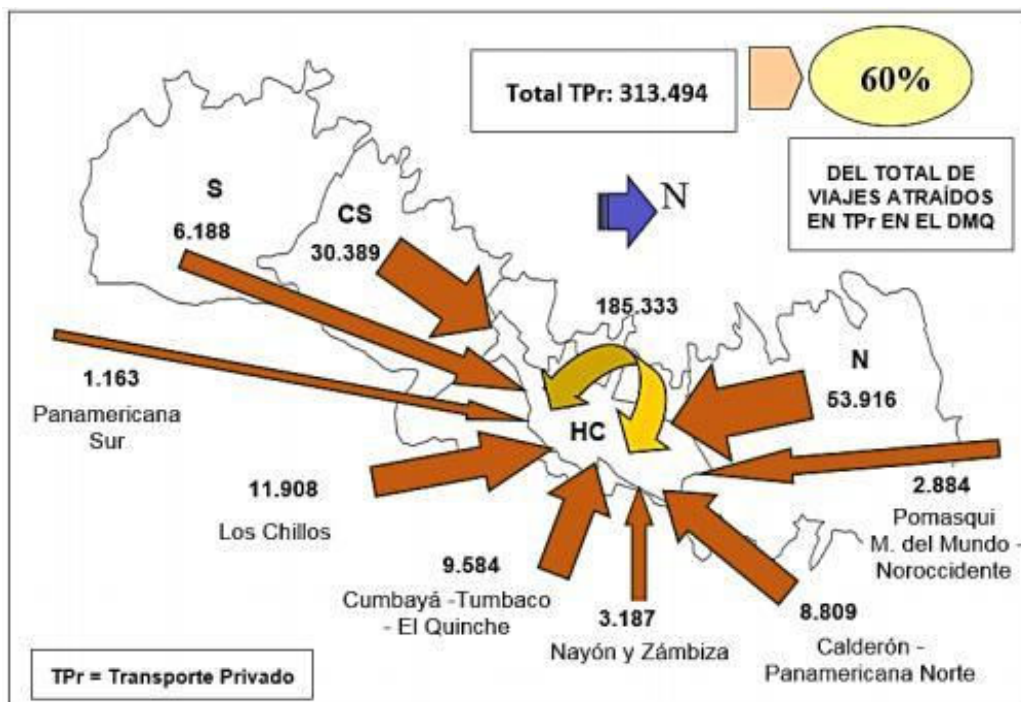
Fuente: Secretaría de Movilidad, 2015

La ubicación macrocentral de Quito genera la mayor cantidad de puestos de trabajo, por lo que ocupa una gran parte de las instalaciones urbanas públicas y



privadas, lo que constituye la mayor interacción entre viajes desde diferentes regiones y modos de transporte en DMQ.

**Gráfico No 17** Número de viajes por día atraídos en transporte privado



Fuente: Secretaría de Movilidad, 2015

En los Gráficos No 16 y 17, se indica el número de viajes que se realizan hacia el Hipercentro de la capital, en donde se revela que el 46,5% del total de viajes de transporte público en el DMQ se realizan hacia esta zona; así como también el 60% de los viajes en transporte privado; y de la totalidad de viajes, más de la mitad se originan dentro de la misma zona (Plan Maestro de Movilidad para el Distrito Metropolitano de Quito, 2009).

## 2.6. LA CALIDAD DEL AIRE EN QUITO

En el país la contaminación del aire constituye uno de los principales problemas de las zonas urbanas, debido a un alto volumen de producción industrial y un flujo intenso de vehículos sumados al desarrollo no planificado, entre otros factores (MAE, 2015). Con el objetivo de concienciar a la población sobre la importancia de

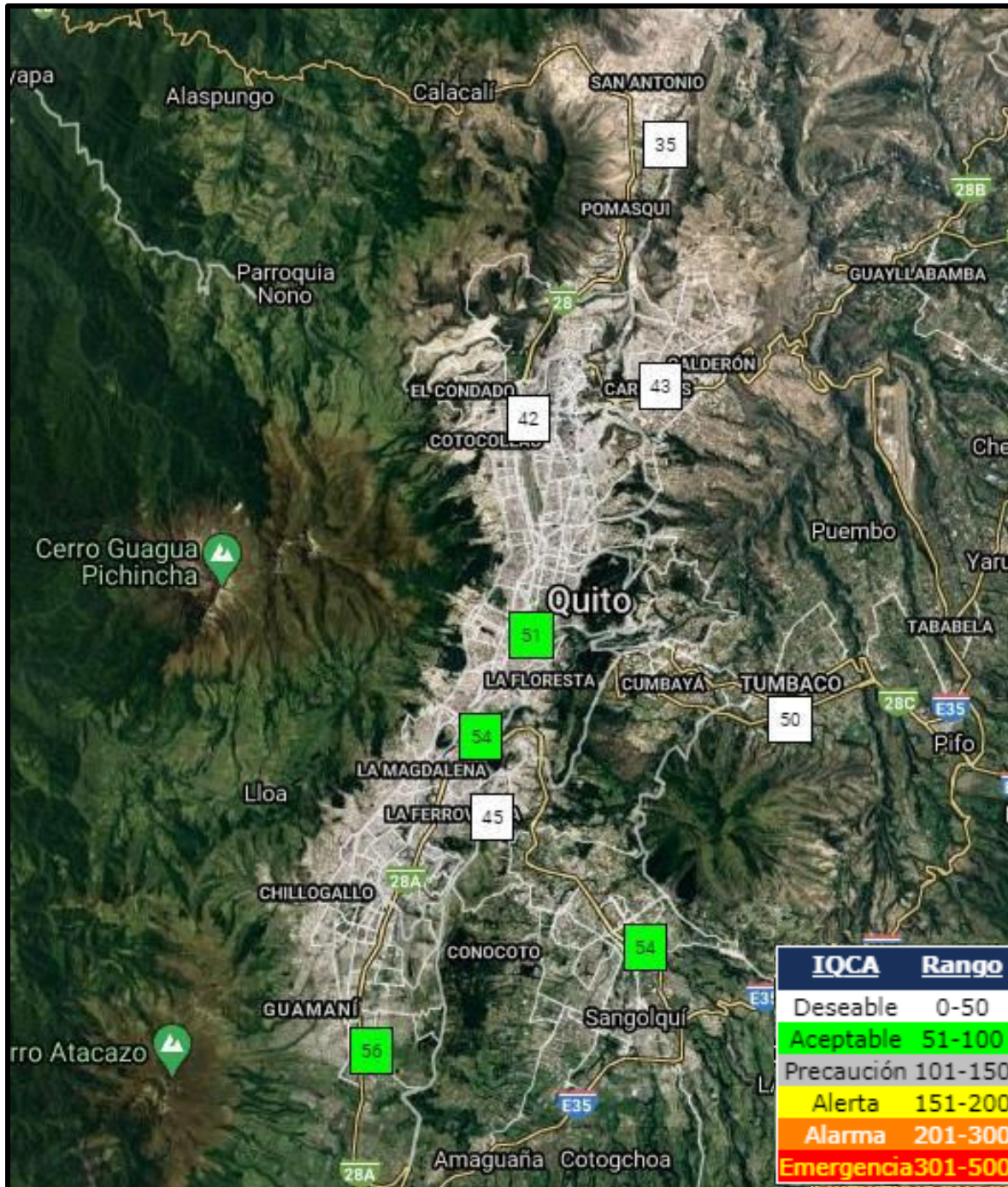
no contaminar el ambiente y evitar el uso de elementos nocivos que afecten la atmósfera, el Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE) a través de la Subsecretaría de Calidad Ambiental, desarrolló en el 2010 el “Plan Nacional de la Calidad del Aire” bajo el lineamiento de las Políticas Ambientales Nacionales, donde se establece la ejecución del Plan el desarrollo del conocimiento, la prevención y control de la contaminación del aire, la institucionalidad y perfeccionamiento de la capacidad técnica.

En el caso de Quito, Díaz (2017) afirma que “varios factores han beneficiado a lo largo de estos años a mejorar y mantener la calidad del aire de Quito, entre los que tenemos la consolidación de la revisión técnica vehicular, los controles a las emisiones de industrias y, en los últimos meses, el fortalecimiento del control aleatorio en vía del transporte público y privado, respecto a emisiones. Sin embargo, es indispensable el compromiso de toda la población concientizándose de la responsabilidad que tiene en la mejora o detrimento de la calidad de aire que respiramos”.

De tal manera la Secretaría de Ambiente del DMQ como ente rector de la calidad del aire tiene como uno de sus objetivos controlar la calidad del recurso natural en la ciudad, utilizando al inventario de emisiones atmosféricas como métodos de control y estadística de emisiones, el mismo que se realiza cada dos años según normativa internacional.

En el Gráfico No 18 se observa un mapa en tiempo real de la capital, indicando los principales sectores de la capital que presentan cuantificación del índice IQCA el cuál será explicado en el apartado 2.5. del presente capítulo. Se observa que no se llega a un estado de precaución sin embargo en algunas zonas las cantidades aumentan.

Gráfico No 18 Mapa del DMQ con puntos IQCA

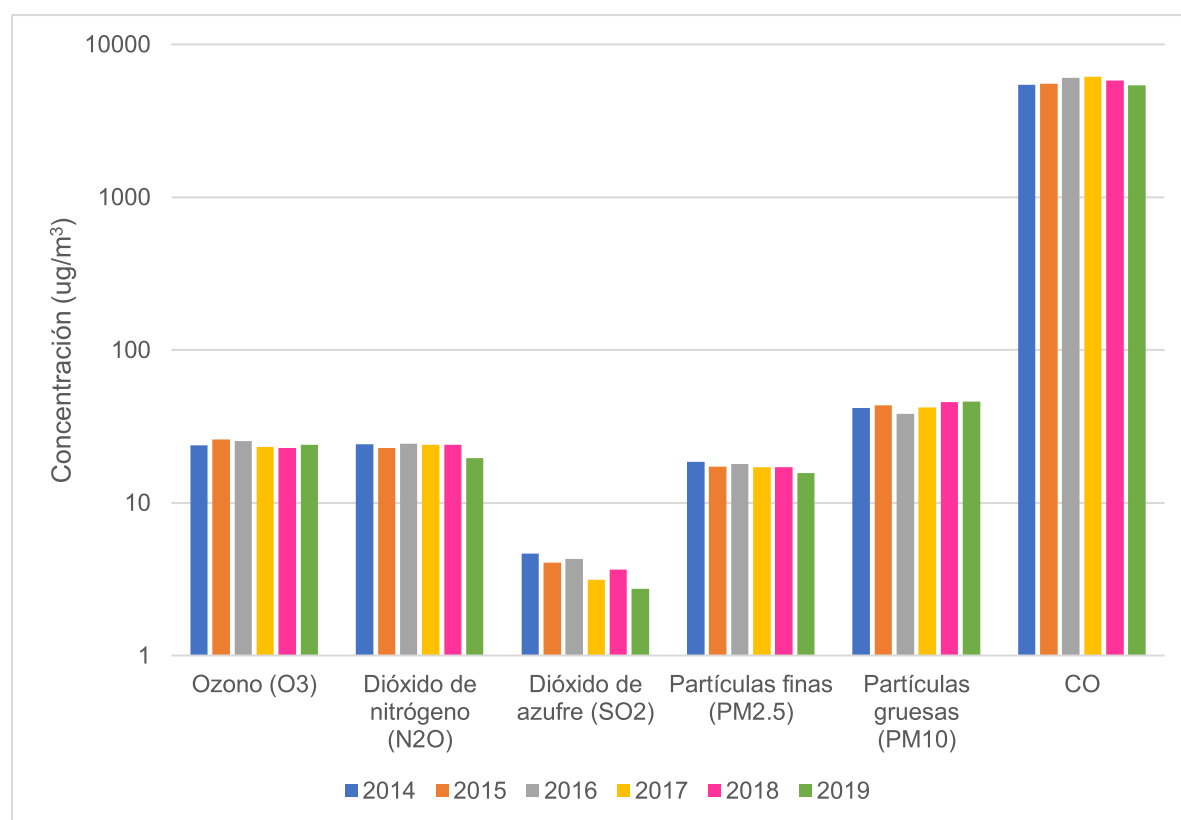


Fuente: Municipio de Quito

La situación de la calidad del aire en Quito, mostrada en el Gráfico No 19 se estableció durante el periodo anual 2014 a 2019. Los valores fueron obtenidos de los equipos de monitoreo ubicados en las diferentes estaciones de la capital que se encuentran en sectores estratégicos como Cotocollao, Carapungo, Belisario, El

Camal, Centro, Guamaní, Tumbaco y Los Chillos. Dado a que las estaciones de monitoreo se encuentran fijas en diversos sectores de la ciudad, los valores obtenidos son referidos a cualquier contaminante que se encuentre en el aire desde cualquier tipo de fuente generadora.

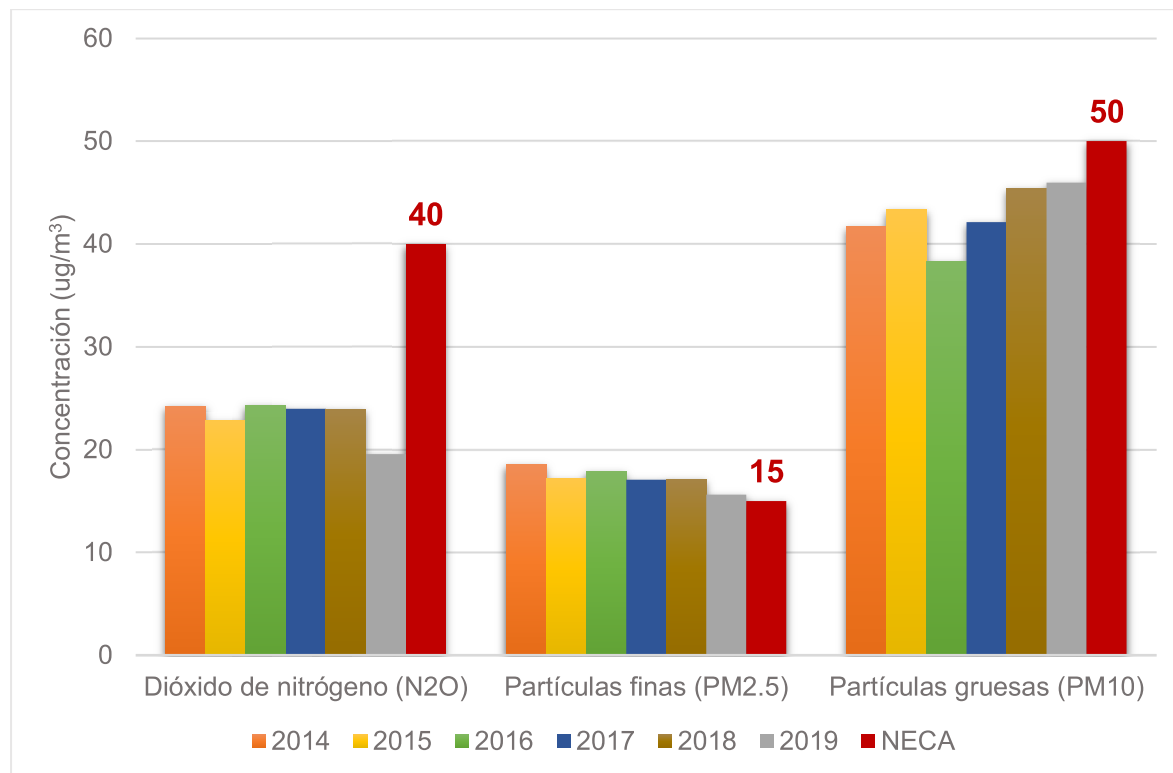
**Gráfico No 19** Evolución histórica de la calidad del aire en DMQ, concentraciones medias anuales de los contaminantes criterio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) durante el periodo 2014 – 2019



Fuente: Informe anual de Calidad del Aire Quito, Secretaría del Ambiente

El Gráfico No 19 se representan valores promedio en cada sector de la ciudad donde se encuentran las estaciones de monitoreo, durante cada hora del día. La tendencia de los contaminantes criterio del aire representa la situación actual del DMQ, se puede observar que a lo largo de los años la calidad del aire en la capital no posee cambios notorios en los valores de los contaminantes principales.

**Gráfico No 20** Comparación de la NECA versus valores anuales de contaminantes del aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) durante el periodo 2014 – 2019



Fuente: Informe anual de Calidad del Aire Quito, Secretaría del Ambiente

En el Gráfico No 20 se presentan los contaminantes del aire que año tras año sobrepasan los límites permitidos, comparados con la Norma Ecuatoriana de Calidad del aire.

Las partículas finas son una fuente de contaminación que afecta directamente a la salud pulmonar, en el Gráfico No 20 las PM<sub>2.5</sub> superan el límite máximo permitido durante los últimos seis años, se observó que para este contaminante sus valores, aunque superan LMP, han disminuido en el año 2019.

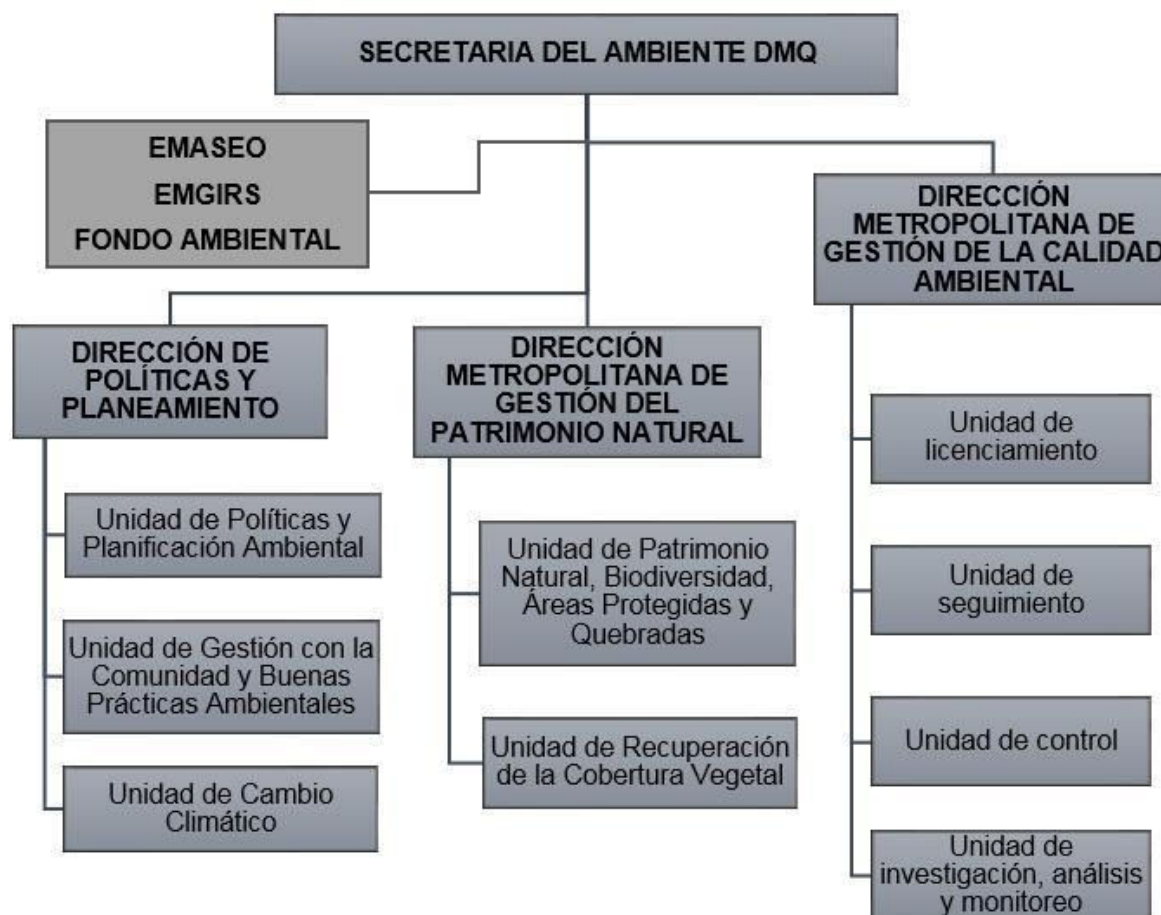
Las partículas gruesas incrementan durante los últimos años, mientras que el contaminante NO<sub>2</sub> tiene un comportamiento variable, aunque no superan el LMP.



## 2.6.1. MONITOREO E INFORMACIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE EN QUITO

En la actualidad, la Secretaría de Ambiente cuenta con información de alta calidad, continua y veraz para poder gestionar y orientar la formulación de políticas de mejoramiento de la calidad del aire en beneficio de las personas más sensibles. Sus datos están a disposición del público y se pueden acceder en línea. También es responsable de la red de monitoreo en el área metropolitana de Quito para controlar y monitorear los recursos naturales. El Gráfico No 21 sistematiza las funciones de la Secretaría del Ambiente.

**Gráfico No 21** Estructura Orgánica de la Secretaría del Ambiente DMQ



Fuente: Secretaría del Ambiente DMQ, 2018

### Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REDAUTO)

Es uno de los principales subsistemas y consta de ocho estaciones fijas, estas estaciones cuentan con analizadores automáticos de gas y partículas, hay estaciones en cada organización administrativa regional del DMQ.

La CORPAIRE, Corporación para el Mejoramiento del Aire en Quito, era la encargada de controlar la contaminación de los vehículos para así mejorar el aire de la capital, a mediados del 2004 la REDAUTO se inició dentro de CORPAIRE, hasta el 2010 cuando pasó a manos de la Secretaría de Ambiente. A lo largo de los años se la ha actualizado y a su vez repotenciado con la incorporación de equipamiento de última tecnología. Está conformada por seis subsistemas encargados de recolectar y registrar la concentración de los contaminantes criterios del aire, así como de variables meteorológicas y ruido ambiental (Secretaría del Ambiente, 2017).

**Tabla No 5** Estaciones de monitoreo de Calidad del aire

Estación	Código	Equipamiento
BEL	Belisario	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , MET
CAR	Carapungo	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , MET
CEN	Centro	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , PM <sub>2.5</sub>
COT	Cotocollao	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> , MET
CAM	El Camal	SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PTS, MET
GUA	Guamaní	CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PTS
JIP	Jipijapa	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , PTS
CHI	Los Chillos	O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , MET
TUM	Tumbaco	SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , MET

Nota: MET (Parámetros meteorológicos), PTS (Partículas sedimentables totales)

Fuente: Secretaría del Ambiente DMQ, 2017

En la Tabla No 5 se muestran las 8 estaciones de monitoreo que posee el DMQ, cada una de ellas abarca en gran parte al sector correspondiente, arrojando datos meteorológicos y de contaminantes atmosféricos específicos de gran utilidad para investigaciones. En el presente trabajo se utilizaron los datos de todas las estaciones de monitoreo para realizar estimaciones de la cantidad de emisiones y ubicarlas espacialmente en las distintas zonas de la ciudad.

### **1. Red Automática (RAUTO)**

Consta de ocho estaciones fijas, estas estaciones cuentan con analizadores automáticos de gas y partículas, cada administración del DMQ tiene una estación. También hay una estación de repuesto en las instalaciones de la Secretaría de Ambiente en el área de Jipijapa, donde el equipo se puede utilizar para situaciones de emergencia en otras estaciones. La red analiza monóxido de carbono (CO); dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>); óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>); ozono (O<sub>3</sub>); materiales particulados finos o de menos de 2,5 micrones de diámetro (PM<sub>2,5</sub>) y menos de 10 micrones (PM<sub>10</sub>), Velocidad y dirección del viento, radiación solar, etc.

### **2. Red de Monitoreo Pasivo (REMPA)**

En funcionamiento desde diciembre de 2005. Actualmente permite realizar el muestreo simultáneo en cuarenta y tres puntos del DMQ, en zonas identificadas por tipo de fuentes fijas o móviles, nivel de calles, sector rural y blancos regionales, nueve de estos puntos coinciden con las estaciones de la RAUTO con el fin de correlacionar los resultados obtenidos y disminuir la incertidumbre de los datos generados por el monitoreo pasivo.

Los monitores pasivos registran las concentraciones de NO<sub>2</sub> (exposición de 30 días por mes), O<sub>3</sub> (exposición de 15 días, 2 veces por mes), SO<sub>2</sub> (exposición de 30 días por mes) y benceno – tolueno y xilenos (BTX) (exposición de 30 días por mes). Es de señalar que, a partir del mes de mayo de 2017, se modifica el tiempo de



exposición a 30 días para O<sub>3</sub>, luego de ensayar y aplicar otra técnica para la preparación de los monitores y su posterior análisis.

Cabe señalar que el monitoreo pasivo es fabricado por los técnicos de REMPA, y todos los análisis se realizan en el laboratorio químico de la secretaria del Ambiente, en cada etapa del monitoreo de composición cada etapa está sujeta a un estricto control de calidad. Pasivamente.

### **3. Red de Depósito (REDEP)**

REDEP funciona desde mayo de 2005. En la actualidad, consta de 37 puntos de monitoreo, que registran el sedimento de polvo atmosférico (partículas precipitables, PS), los cuales deben ser monitoreados de acuerdo con la legislación nacional. El muestreador recolecta 30 días de partículas precipitables cada mes y luego analiza las muestras por análisis gravimétrico (peso) y métodos químicos para determinar precipitados solubles e insolubles y pH.

### **4. Red Activa de Material Particulado (RAPAR)**

Está en funcionamiento desde mayo de 2003. En la actualidad, se han alcanzado cuatro muestreadores semiautomáticos de gran volumen activos (muestreadores de gran volumen) para partículas en suspensión (PM10) menores de 10µm.

De acuerdo con el método estipulado en la legislación nacional, el muestreo se realiza cada seis días dentro de las 24 horas. Tanto el muestreador de partículas finas como el muestreador de partículas gruesas se utilizan para correlacionar los resultados obtenidos por equipos automáticos, ya que la tecnología de referencia para este contaminante es semiautomática.

### **5. Red Meteorológica (REMET)**

Consta de seis estaciones, y sus sensores están ubicados en las estaciones automáticas Carapungo, Cotocollao, Belisario, El Camal, Tumbaco y Los Chillos. Las estaciones de la red meteorológica cuentan con sensores de velocidad y

dirección del viento, humedad relativa, radiación solar total, temperatura, presión atmosférica y precipitación. Además, la estación Guamani cuenta con un sensor de precipitación, que brinda esta información muy relevante en la zona indicada.

### Índice Quiteño de Calidad del Aire (IQCA)

El Índice de Calidad del Aire de Quito en Quito fue creado por MDMQ para proporcionar información confiable, oportuna y fácil de entender sobre los niveles diarios de contaminación del aire. La utilidad del índice sigue siendo para describir la complejidad del valor técnico simple como hechos, que describen la calidad del aire y proponen soluciones de manera descriptiva e ilustrativa, y brindan alcance y color para cada categoría.

Se calcula en base a los datos obtenidos al monitorear la red. Es una escala digital entre 0 y 500, y el rango medio también se expresa en diferentes colores. Cuanto mayor sea el valor IQCA, mayor será el nivel de contaminación del aire y, por lo tanto, mayor será el daño a la salud de las personas. IQCA asigna el límite máximo permitido en la norma nacional de calidad del aire a 100 para diferentes contaminantes. Un valor IQCA entre 0 y 100 indica que la concentración medida está por debajo del límite máximo permitido. (Secretaría del ambiente DMQ, 2011).

La Tabla No 6 presenta las categorías del IQCA y sus valores límites, para cada contaminante común de la atmósfera, junto con el código de colores a ser utilizado.

**Tabla No 6** Límites numéricos de cada categoría del IQCA ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Rango	Categoría	CO <sup>a</sup>	O3 <sup>b</sup>	NO2 <sup>c</sup>	SO2 <sup>d</sup>	PM2.5 <sup>e</sup>	PM10 <sup>f</sup>
0 - 50	Nivel deseable u óptimo	0-5000	0-50	0-100	0-62.5	0-25	0-50
51 - 100	Nivel aceptable o bueno	5001-10000	51-100	101-200	63.5-125	26-50	51-100

Rango	Categoría	CO <sup>a</sup>	O3 <sup>b</sup>	NO2 <sup>c</sup>	SO2 <sup>d</sup>	PM2.5 <sup>e</sup>	PM10 <sup>f</sup>
101 – 200	Nivel de Precaución	10001-15000	101–200	201–1000	126–200	51–150	101–250
201 – 300	Nivel de Alerta	15001-30000	201–400	1001-2000	201-1000	151–250	251–400
301 - 400	Nivel de alarma	30001-40000	401–600	2001–3000	1001-1800	251–350	401–500
401 - 500	Nivel de emergencia	>4000	0 >600	>3000	>1800	>350	>500

Notación: **a**, concentración máxima de promedio en 8 horas;  
**b**, concentración máxima de promedio de 8 horas;  
**c**, concentración máxima en 1 hora;  
**d**, concentración promedio en 24 horas;  
**e**, concentración promedio en 24 horas;  
**f**, concentración promedio en 24 horas

Fuente: Secretaría de ambiente DMQ, 2017

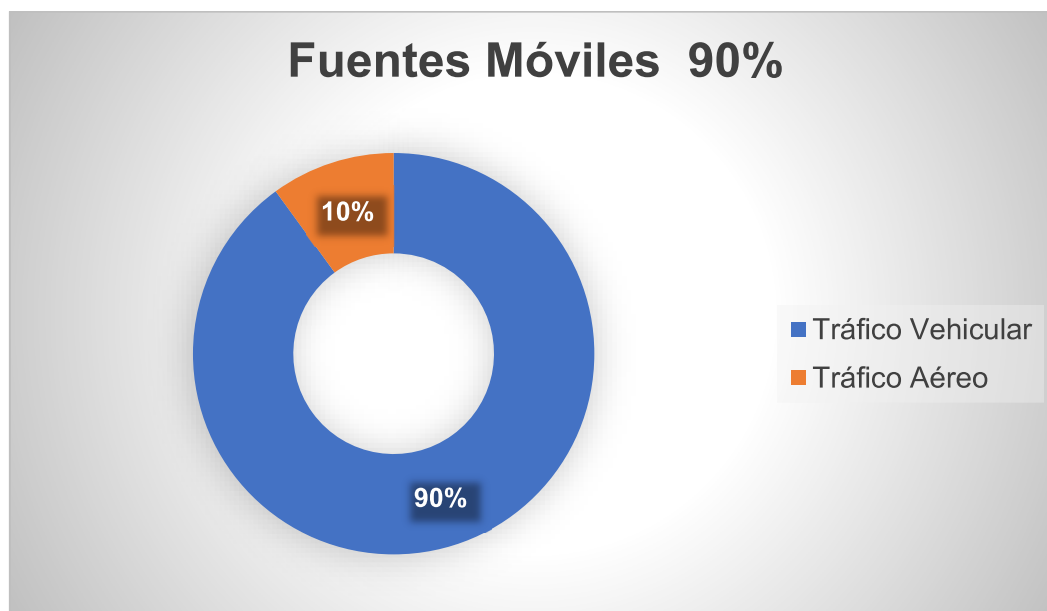
## 2.6.2. PRINCIPALES FUENTES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES EN QUITO

Para describir las principales fuentes de emisión dentro del DMQ se han agrupado las fuentes según su categoría, por consiguiente, se obtienen las siguientes 3 categorías, con sus respectivas fuentes importantes de emisión, las cuales son según el Inventario de emisiones del DMQ del 2011 (2014):

- Fuentes Móviles:
  - Tráfico Vehicular
  - Tráfico Aéreo
- Fuentes Fijas:
  - Rellenos Sanitarios
  - Procesos de combustión en termoeléctricas e industrias
  - Procesos industriales

- Fuentes de Área:
  - Biogénicas
  - Uso doméstico de GLP
  - Uso doméstico y comercial de solventes
  - Emisiones domesticas NH3
  - Estaciones de servicio y depósitos de combustibles
  - Canteras de materiales de construcción
  - Erosión eólica
  - Incendios forestales y estructurales

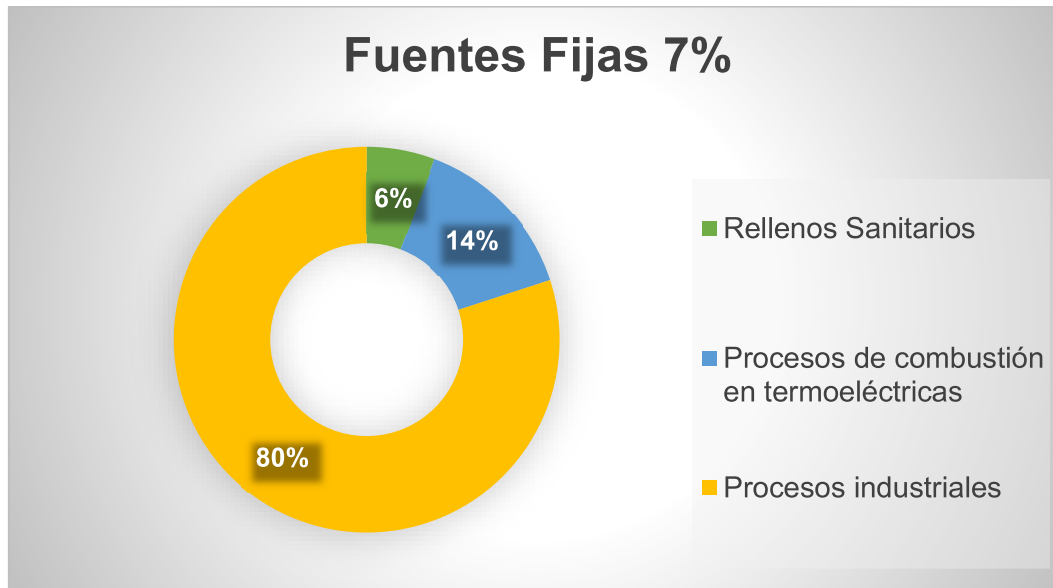
**Gráfico No 22** Porcentaje de emisiones atmosféricas por fuentes móviles en el DMQ



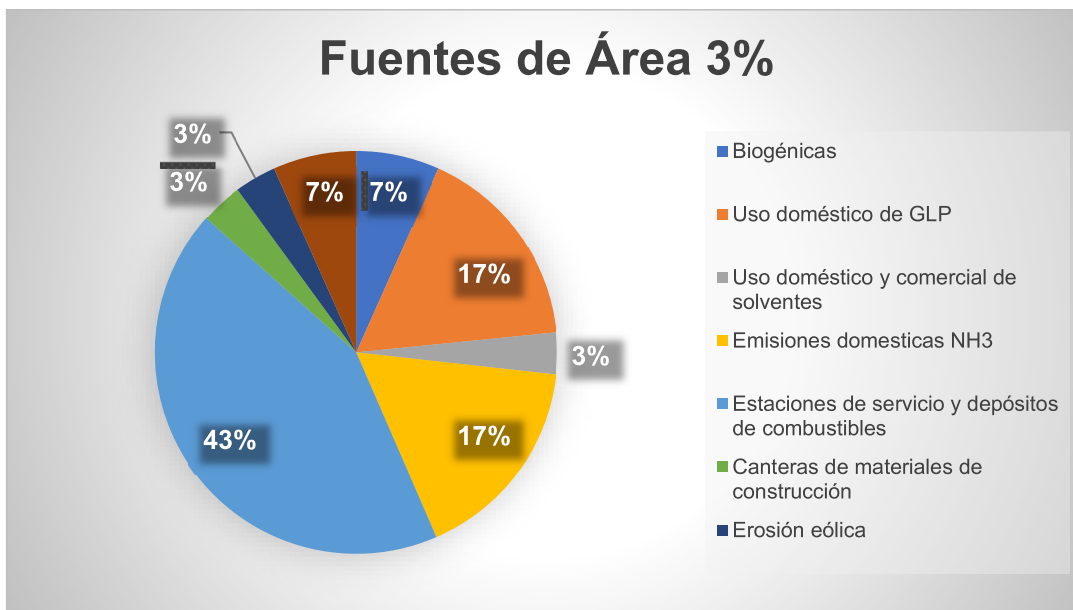
Fuente: Secretaría de ambiente DMQ, 2017

La principal composición de las fuentes móviles de acuerdo con el tráfico vehicular es: automóvil, camioneta, camión, bus, buseta, furgoneta, motocicleta (Secretaría de la Movilidad, 2018).

**Gráfico No 23** Porcentaje de emisiones atmosféricas por fuentes fijas en el DMQ



**Gráfico No 24** Porcentaje de emisiones atmosféricas por fuentes de área en el DMQ



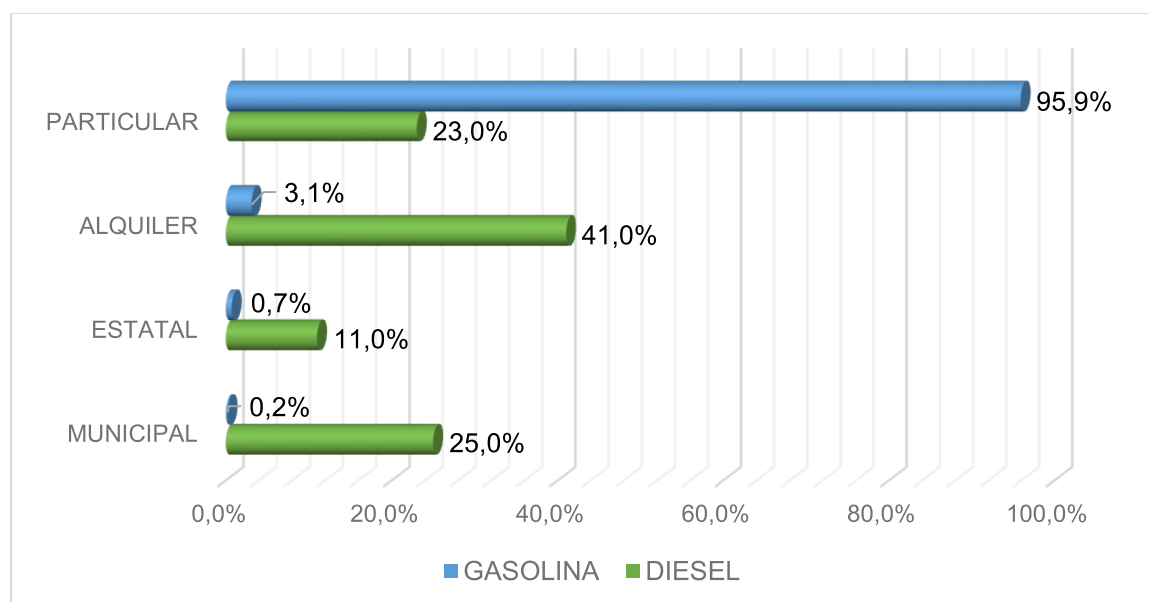
Clasificando las diversas fuentes de emisión que componen al DMQ, la principal fuente de emisión de contaminantes son las fuentes móviles por el acrecentamiento

del parque vehicular que tiende al incremento dependiendo del crecimiento poblacional.

### 2.6.3. TIPO DE COMBUSTIBLES EN QUITO

Se toma en cuenta los combustibles en la calidad del aire de Quito, ya que el uso de estos combustibles genera los contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero.

**Gráfico No 25** Comparativo de los vehículos matriculados por uso y tipo de combustible

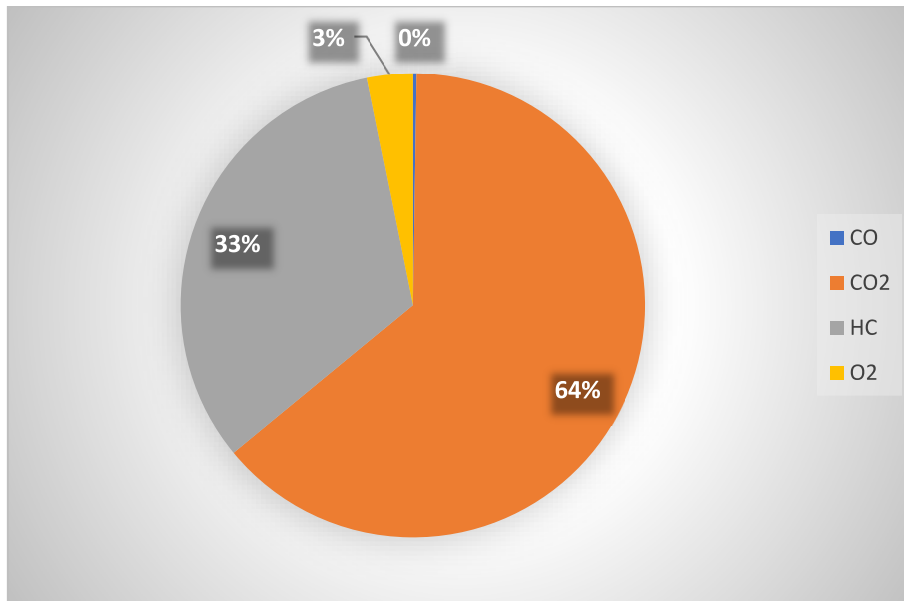


Fuente: Anuario de Estadísticas de Transporte, INEC

- **Gasolina**

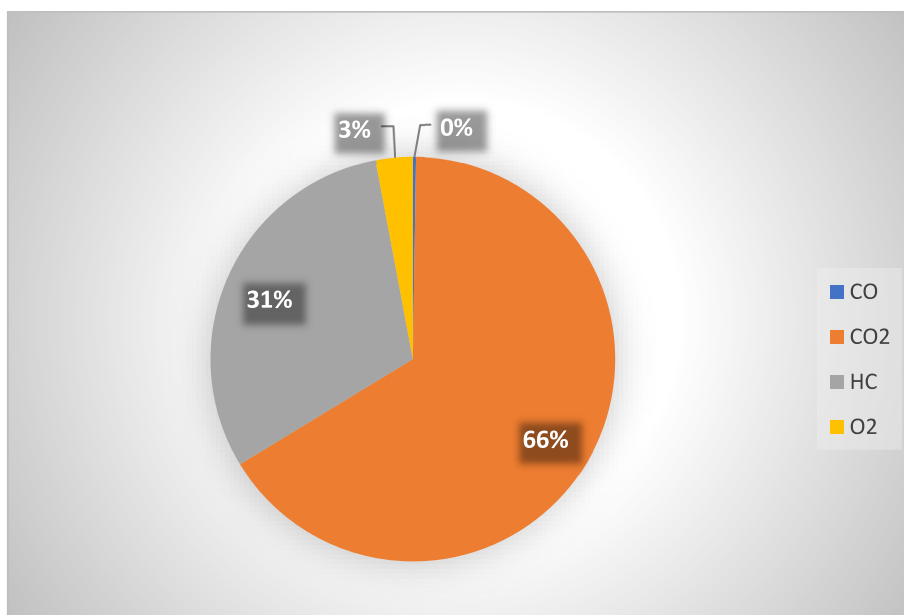
La gasolina se divide dentro del DMQ en dos tipos de calidad de combustible, siendo así la Super la de mejor calidad con 92 octanos y la Extra de menor calidad con 87 octanos. La gasolina es una mezcla de hidrocarburos volátiles, libres de agua, sedimento y material sólido en suspensión, destinada a ser utilizada como combustible para motores de combustión interna de encendido por chispa.

La gasolina de 92 octanos contiene una composición de gases de emisión de CO (0,11%V), CO<sub>2</sub> (28,98%V), HC (14,90ppm), O<sub>2</sub> (1,44%V), como lo indica el Gráfico No 26 en porcentajes (CCICEV, 2017).

**Gráfico No 26** Gasolina de 92 octanos

Fuente: Laboratorio del CCICEV

La gasolina de 87 octanos contiene una composición de gases de emisión CO (0,11%V), CO2 (28,81%V), HC (13,4190ppm), O2 (1,29%V), como lo indica el Gráfico No 27 en porcentajes (CCICEV, 2017).

**Gráfico No 27** Gasolina de 87 octanos

Fuente: Laboratorio del CCICEV

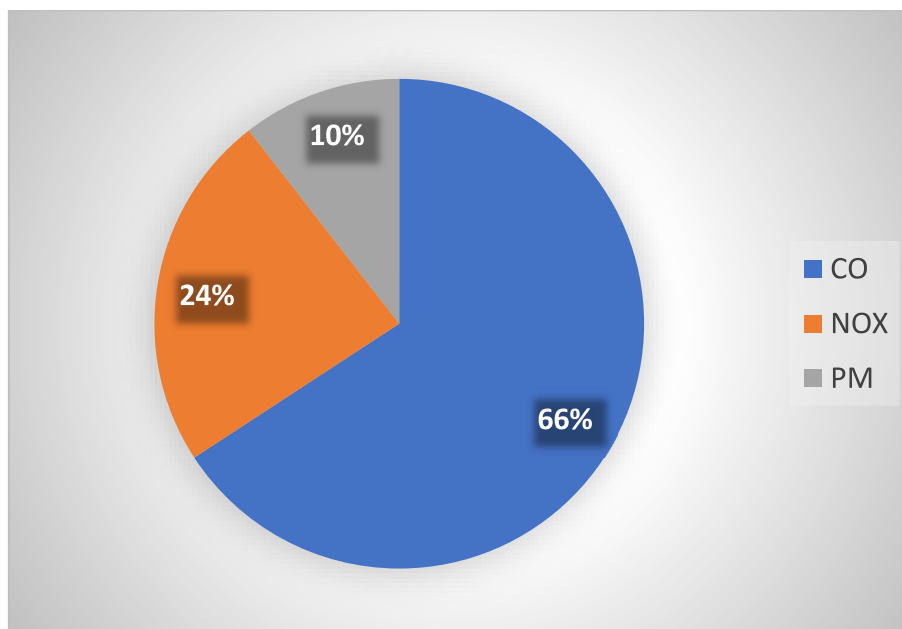
- **Diesel Premium**

También conocido como diésel N° 2, es el combustible utilizado para motores de combustión interna de encendido por compresión, que requieren alta volatilidad. El exceso de aire disponible suministra suficiente oxígeno para una combustión más completa. Esta acción eficiente reduce las emisiones globales de Hidrocarburos (HC) y Monóxido de carbono (CO), en comparación con un motor de gasolina (EURO 6, 2015).

El diésel premium para Quito posee un contenido promedio de azufre de 227 ppm, según la normativa EURO 6 se requiere de un combustible diésel cuyas emisiones no sobrepasen las 10 partículas por millón de azufre (ídem).

El diésel premium contiene una composición de gases de emisión CO (0,5%V), NOx (0,18%V), PM (0,08ppm), como lo indica el Gráfico No 28 en porcentajes (CCICEV, 2017).

**Gráfico No 28** Diesel Premium



Fuente: Laboratorio del CCICEV



#### **2.6.4. GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE EN QUITO**

En la actualidad, la contaminación del aire se ha vuelto cada vez más importante en la gestión ambiental de la región y bajo la atención de los ciudadanos, por ser un componente básico del calentamiento global existente. El estado actual de la calidad del aire depende de diversos factores que aparecen en el escenario DMQ todos los días, resultando en un crecimiento poblacional que lleva a un aumento en el número de vehículos, y un desarrollo territorial que se extiende cada vez más a los valles, resultando en viajes más largos y recorridos de varios kilómetros. Una gran cantidad de combustible y una alta proporción de emisiones contaminantes son algunos de los problemas que existen en la expansión y desarrollo del capital.

La gestión ambiental del recurso aire según el Plan Nacional de Calidad del Aire del Ecuador en 2010, se basa en estrategias que atacan a los principales problemas que presenta la capital, lo cuales son:

- La implementación de los sistemas de transporte masivos como el Trolebús, la Ecovía y el sistema de buses articulados
- La implementación de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico (REMMAQ) y vigilancia de la calidad del aire
- La Revisión Técnica Vehicular
- La siembra de varias decenas de miles de árboles nativos, la restauración de parques y jardines, y el control de áreas verdes en épocas secas
- El control de fuentes fijas de combustión
- Las campañas de difusión ciudadana
- Restauración de áreas erosionadas

#### **Otras herramientas de gestión**

Dentro del Distrito Metropolitano existen también planes de prevención y control los cuales funcionan bajo el Código Orgánico de Ambiente y Reglamento que contiene la normativa básica para cada recurso natural, así como sus cuidados y monitoreos

con el fin de que no se alteren sus principios generales y de esa manera no causen afecciones al ser humano.

Como indica Oviedo (2010) “el Plan Ambiental de Calidad del Aire (PMCA) para el Distrito Metropolitano de Quito fue concebido como un instrumento indispensable para sistematizar y dar unidad y coherencia a las medidas técnicas destinadas a mejorar la calidad del recurso, fortalecer la participación social, la imagen y presencia de la autoridad ambiental en la aplicación de dichas medidas, así como fortalecer los programas de vigilancia y de prevención, y desarrollar herramientas para conocer mejor y luego reducir el impacto de la contaminación del aire sobre la salud”. Dentro del PMCA mencionado se encuentran herramientas vigentes de vigilancia, prevención y control como:

- **Revisión Técnica Vehicular**

Uno de los mecanismos de control de la capital es la Revisión Técnica de Vehículos (RTV), cuyo principal objetivo es garantizar unas condiciones mínimas de seguridad para los vehículos. Además, sus datos pueden brindar un fuerte sustento para esta investigación, como verificar si los vehículos cumplen con la normativa técnica y mantener los niveles de emisión de contaminantes dentro de los límites máximos establecidos en la normativa vigente. Esta medida es efectiva desde 2003 y es la principal herramienta para reducir las emisiones de DMQ, ya que la mayoría de las emisiones son generadas por fuentes móviles. (Oviedo, 2015).

- **Control de emisiones de las fuentes fijas**

Está a cargo de la Secretaría de Ambiente. Tiene dos modalidades: el autocontrol y reporte del generador, controlado por la entidad de monitoreo; y el control público del equipo de investigación, análisis y seguimiento del Ministerio de Ambiente en respuesta a solicitudes internas del Ministerio de Ambiente (Oviedo, 2015). El propósito del monitoreo es generar valores que cumplan con la normativa ambiental vigente, por lo que la entidad

generadora está obligada a realizar un monitoreo por su cuenta para confirmar el cumplimiento.

#### - **Calidad de combustibles**

Dentro de la Dirección de Control y Control de Hidrocarburos, el departamento técnico de control de combustibles monitorea los combustibles vendidos en DMQ y cumple con los requisitos de diésel premium (contenido de azufre) y gasolina en exceso (contenido) definidos por el INEN. Índice de azufre y octano) y súper gasolina (contenido de azufre y octano). La mejora de la calidad de los combustibles está directamente relacionada con la mejora de la calidad del aire porque reduce la cantidad de contaminantes emitidos por las fuentes de generación de energía (especialmente las móviles) que ocupan la mayor parte de la tierra. (Oviedo, 2015).

## **2.7. LOS INVENTARIOS Y LAS EMISIONES VEHICULARES**

Los inventarios de emisiones atmosféricas son herramientas muy útiles para la gestión ambiental de los recursos atmosféricos porque brindan información sobre los aportes de diferentes fuentes emisoras de gases y partículas que se consideran contaminantes atmosféricos, precursores de contaminantes secundarios o invernaderos. Gas, son corresponsables de la degradación de los recursos para desarrollar estrategias de gestión ambiental orientadas a la reducción de emisiones. (Pacyna y Graedel, 1995).

El contenido del inventario de emisiones debe ser información útil y completa, midiendo las posibilidades técnicas a implementar, de manera que la información detallada se convierta en una base de datos clara y aplicable para las soluciones ambientales. Problemas de calidad del aire. (Gaitán y Cárdenas, 2017).

El objetivo principal de los inventarios de emisiones atmosféricas en general es el cuantificar las emisiones basados en una fuente específica, en este caso particular de estudio, las fuentes móviles.

El inventario de emisiones se utilizará durante todo el proceso de gestión de la calidad del aire, y los datos contenidos en el inventario se utilizarán como punto de referencia inicial para comprender las fuentes de emisión en la región. Los sujetos que utilizaron información tan detallada en el inventario lo hicieron para determinar posibles medidas para reducir las emisiones a ser consideradas en el plan de gestión de la calidad del aire. El propósito principal es (MAVDT, 2010a):

- Estimar la calidad del aire futura a través de modelación y datos sobre distribución espacial y temporal de las emisiones.
- Determinar tendencias en los niveles de emisiones.
- Determinar los efectos de las medidas de control en las tasas de emisiones de una región.
- Apoyar el establecimiento de programas de intercambio de emisiones.
- Dar a conocer el reporte de emisiones de las fuentes.
- Informar y orientar a los actores de interés, en la toma de decisiones relacionadas con la protección del ambiente y promoción de la salud.
- Formular y evaluar estrategias para la prevención y control de la contaminación del aire.
- Evaluar el desempeño ambiental en materia de emisiones atmosféricas de una actividad, sector o región, entre otros.
- Diseñar sistemas de vigilancia de calidad del aire.

Además, el inventario de emisiones atmosféricas es una herramienta para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y sustancias que agotan la capa de ozono (SAO); esto es fundamental para formular y monitorear estrategias de reducción de emisiones, reportar avances de acuerdo con acuerdos internacionales y comercio de emisiones.

En la estrategia de difusión de información ambiental y mejora de la transparencia de los procesos, el inventario de emisiones atmosféricas es la base técnica para el cálculo de las emisiones de la empresa que pueden estar sujetas al registro de emisiones y transferencia de contaminantes.

Un inventario de emisiones atmosféricas es el resultado de una implementación ordenada de acciones encaminadas a cumplir con los estándares de calidad, consistencia, integridad, comparabilidad y representatividad que generan una o más fuentes de preocupación.

### **2.7.1. LAS EMISIONES DE FUENTES MÓVILES O VEHICULARES**

Las fuentes móviles son todos los vehículos como automóviles, barcos y aviones, los cuales emiten contaminantes a la atmosfera (Ministerio del Ambiente, 2010). Las dos primeras grandes categorías en fuentes móviles se refieren a los vehículos en la vía (*onroad*) y los vehículos fuera de la vía (*offroad*) para este proyecto solo se tomará en cuenta los vehículos en la vía, que corresponde a los vehículos automotores diseñados para circular por vías públicas, como son las motocicletas, los vehículos de pasajeros, buses, camiones, entre otros.

Los vehículos fuera de la vía (*offroad*): “Se refiere a cualquier máquina móvil, equipo industrial transportable o cualquier vehículo con o sin carrocería, que no ha sido diseñado para el transporte de pasajeros o carga en carretera, en el cual se ha instalado una máquina de combustión interna. Esta definición incluye, pero no está limitada a las maquinas instaladas en: plataformas industriales de perforación, compresores, entre otros; equipos de construcción, incluyendo motoniveladoras, tractores, excavadores hidráulicos, cargadores, entre otros; equipos agrícolas, trilladoras, entre otros; equipos para silvicultura, vehículos autopropulsados (Gaitán & Cárdenas, 2017).

- **Motores de combustión interna y emisiones**

Son aquellos dispositivos mecánicos que generan trabajo a partir de la combustión a alta presión los cuales se pueden expandir a través de una turbina o pistón. La ingeniería de estos sistemas posee una serie de características que influyen en la

generación de contaminantes entre los cuales, para las fuentes móviles a analizar se tienen dos tipos los cuales son el motor de ciclo Otto, usado en automóviles y el motor de ciclo Diesel se usa en vehículos grandes o de transporte pesado. Cada uno es una fuente importante de contaminantes, teniendo así a los automóviles como principales precursores de monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados y óxidos de nitrógeno. Los motores Diesel por otro lado se conocen por las emisiones de humo negro (hollín) (Flagan & Seinfeld,1998).

Como afirma Flagan y Seinfeld (1998) su principio básico de funcionamiento es que el pistón se mueve arriba y abajo en un cilindro, transmitiendo su movimiento a través de una biela al cigüeñal que impulsa el vehículo. Este ciclo implica 4 tiempos:

- Admisión; el Pistón descendente extrae una mezcla de combustible y aire a través de una válvula de admisión abierta.
- Compresión: la válvula de admisión está cerrada y el pistón ascendente comprime la mezcla del combustible y el aire, luego se enciende la bujía para prender la mezcla.
- Expansión: la mezcla se expande, empujando el pistón hacia abajo y brindando potencia.
- Escape: la válvula de escape se abre y el pistón se eleva, expulsando el gas quemado del cilindro.

Cabe mencionar, el diésel no tiene carburante solo el aire ingresa al cilindro a través de la válvula de admisión. El combustible se inyecta directamente en el cilindro del motor hasta la compresión. A medida que el aire calentado por compresión se mezcla con la pulverización del combustible, el combustible se evapora y se enciende. Se requieren presiones relativamente altas para lograr un encendido confiable (Flagan & Seinfeld,1998).

Los motores de combustión interna trabajan utilizando una mezcla aire/combustible. Para que la combustión se produzca, es necesario que la relación de mezcla se encuentre entre unos valores. Esta relación se da siempre poniendo en primer lugar la cantidad de aire y después la de combustible. La mezcla se mide en masa, nunca

en volumen. La mezcla perfecta sería de 14,8 gramos de aire por 1 gramo de combustible, es decir que se necesita mucho aire para quemar un solo gramo de combustible (Bosch, 2005). Pero si la mezcla se encuentra fuera de esta relación, se presentan consecuencias en el vehículo, para explicar de mejor manera se tienen dos tipos de mezclas, las cuales son:

- Mezclas ricas ( $\lambda < 1.0$ ): es la que tiene una relación de aire-combustible más baja. No hay suficiente aire (oxígeno) para sustentar la combustión completa. Las mezclas ricas aumentan el consumo de combustible, se caracterizan por aumentar el contenido de CO en los gases de escape y disminuye el contenido de CO<sub>2</sub> y emisiones de NOx.
- Mezclas pobres ( $\lambda > 1.0$ ): es la que tiene una relación aire-combustible más alta; hay más aire del necesario para una combustión completa, se caracteriza por disminuir el contenido de CO en el escape, aumentan los NOx hasta un  $\lambda$  de 1.1 luego disminuyen por la disminución de la temperatura de combustión.

En la actualidad se utilizan combustibles alternativos usados en vehículos de nuevas tecnologías, sin embargo, ya que la mayoría de los vehículos utilizan como fuente principal de combustible la gasolina y el diésel se usan los mismos para el cálculo de emisiones (De Nevers, 2000).

El diésel y la gasolina al ser derivados del petróleo tienen como característica su composición por hidrocarburos, posteriormente se agregan olefinas, detergentes y plomo en el proceso de refinación así se eleva su capacidad energética (De Nevers, 2000). Para determinar la calidad de la gasolina se usa el octanaje, el cual es una medida de la capacidad de la gasolina para resistir la autoignición. Esta propiedad puede ser mejorada mediante aditivos (Flagan & Seinfeld, 1998). Para determinar la calidad del diésel se calcula el número de cetano, el cual es una medida de la calidad de ignición del diésel. Se refiere a la habilidad del combustible para reaccionar con el oxígeno bajo condiciones de explosión (Flagan & Seinfeld, 1998).

En términos generales, las emisiones provenientes de los vehículos se consideran de la siguiente manera:

- Emisiones por el tubo de escape, que son producto de la quema de combustible ya sea éste gasolina, diésel u otros. Estas emisiones dependen de las características propias del vehículo, es decir su tecnología y su sistema de control de emisiones. Se tiene que los vehículos más pesados o potentes tienden a generar mayores emisiones por kilómetro recorrido y las normas que regulan la construcción de los vehículos dictan su tecnología y la existencia de equipos de control de emisiones. El estado de mantenimiento del vehículo y los factores operativos, la velocidad de circulación, la frecuencia e intensidad de las aceleraciones y las características del combustible (como su contenido de azufre) juegan un papel determinante en las emisiones por el escape (Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, 2012).
- Emisiones evaporativas, que son las que ocurren cuando el vehículo se encuentra estacionado como cuando el vehículo está en circulación, su valor depende tanto de los factores geográficos, meteorológico como de las características propias del vehículo. Entre los factores meteorológicos se toma en cuenta la altura, la temperatura ambiente y principalmente la presión de vapor del combustible (Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, 2012). La variedad de procesos por los que se presentan emisiones evaporativas en los vehículos incluye:
  - Emisiones diurnas: Son generadas en el sistema de combustible del vehículo debido a los cambios de temperatura a través de todo el día.
  - Emisiones del vehículo recién apagado con el motor caliente: Se presentan una vez que se apaga el motor, debido a la volatilización del combustible por su calor interno.
  - Emisiones evaporativas en circulación: Se presentan cuando el motor está en operación.



- Emisiones evaporativas del vehículo en reposo con el motor frío: Ocurren principalmente debido a la permeabilidad de los componentes del sistema de combustible.
  - Emisiones evaporativas durante el proceso de recarga de combustible: Consisten en fugas de vapores del tanque de combustible durante el proceso de recarga; se presentan mientras el vehículo está en las estaciones de servicio y para efectos de inventarios de emisiones, son tratadas típicamente como fuente de área.
- Emisiones por abrasión, son producidas por desgaste de neumáticos y frenos, y abrasión del pavimento, respectivamente, en los que se calculan emisiones de metales pesados y partículas en suspensión, para el presente inventario únicamente se toaran en cuenta las partículas en suspensión como PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> (Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, 2012).

## **2.7.2. MODELOS PARA DETERMINAR LAS EMISIONES VEHICULARES**

A continuación, se detallarán los diferentes modelos utilizados a nivel internacional para el cálculo de emisiones vehiculares, las cuales dependen de cada modelo, el IPCC se concentra en Gases de efecto invernadero (GEI), mientras que la metodología COPERT se concentra en cálculo de emisiones por el tubo de escape y evaporativas, sin tomar en cuenta a las emisiones por abrasión, mientras que el modelo IVE sirve para el cálculo de todo tipo de emisiones de fuentes móviles. Posteriormente se generan los inventarios de emisiones, los cuales dependen de la cantidad de datos disponibles, lo que a su vez determinara su mayor acercamiento a la realidad o dicho de otra forma la incertidumbre del cálculo de la emisión.

- **Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC)**

Las metodologías propuestas por el IPCC son tipo Top – Down, ampliamente usadas en el mundo para la estimación de emisiones, con diferentes grados de

exactitud, dependiendo del Manual utilizado. El Inventario de Emisiones GEI Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) 2011 fue desarrollado siguiendo la Metodología del IPCC, a través de la “Guía para los inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del IPCC, revisada en 1996”. (Inventario de emisiones 2011, 2014)

El IPCC está patrocinado por las Naciones Unidas (ONU). Esta agencia revisa y evalúa la información científica, técnica y socioeconómica más reciente del mundo que ayuda a comprender el cambio climático. La base del IPCC es un grupo de científicos voluntarios que revisan la información para garantizar una evaluación objetiva y completa de la información existente. El IPCC está abierto a todos los estados miembros de las Naciones Unidas y la OMM, y actualmente 195 países son miembros. El IPCC brinda una oportunidad única para brindar a los tomadores de decisiones información científica rigurosa y equilibrada. Al aprobar su informe, el gobierno puede reconocer la autoridad de su contenido científico. Estos informes son una forma de ayudar a los países a preparar sus inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2020).

- **Modelo de Emisiones Europeo (COPERT)**

La mayoría de los modelos estimarán las emisiones de fuentes móviles basadas en velocidades promedio para que los factores de emisión de los vehículos se puedan encontrar más tarde, mientras que otros datos importantes se ignoran. COPERT recopiló la información descrita al principio y construyó una extensa base de datos basada en ella, que ha sido ampliamente aceptada y utilizada por los estados miembros de la Unión Europea. (Crespi, 2008).

COPERT es un programa de software que se utiliza para calcular los contaminantes atmosféricos emitidos por el transporte por carretera. Las emisiones calculadas incluyen contaminantes convencionales (CO, NOX, VOC, PM) e irregulares (N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>) y también se calcula el consumo de combustible. El desarrollo técnico de COPERT está financiado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) en el marco de las actividades del Centro

Europeo de Aire y Cambio Climático. Desde 2007, la Comisión Europea ha estado coordinando el desarrollo científico del modelo. En principio, COPERT fue desarrollado para utilizar expertos de la Unión Europea para estimar las emisiones del transporte por carretera incluidas en el inventario nacional anual oficial. La metodología COPERT también forma parte de los lineamientos para desarrollar inventarios de emisiones y pronósticos. Un documento de informes diseñado para respaldar las directivas de la UE sobre límites de emisiones nacionales. El uso de herramientas de software para calcular las emisiones del transporte por carretera producirá datos consistentes y comparables para proporcionar informes que deben cumplir con los convenios y protocolos internacionales y las regulaciones (European Environmental Agency, 2016).

- **Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE)**

Para satisfacer las nuevas demandas del análisis de emisiones de vehículos, la Oficina de Transporte y Calidad del Aire (OTAQ) de la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. Está desarrollando un sistema de modelado de emisiones de vehículos llamado Motor. El Simulador de Emisiones de Vehículos (MOVES) consiste en una base de datos que permite el uso de un método típico usando la actividad del vehículo, el consumo de energía, etc., para estimar las emisiones de diversos contaminantes. El modelo solo se calcula en función de la información precargada en los niveles de EE.UU., condado, estado y país / región. (Lovera y otros, 2012)

En muchos países en desarrollo, la comprensión de las emisiones de los vehículos no es suficiente. Esto limita la capacidad de tomar decisiones, lo que limita la capacidad de diseñar estrategias de control efectivas para los vehículos y sus diversas formas de contaminación. El Modelo Internacional de Emisiones de Vehículos (IVE) está diseñado específicamente para tener la flexibilidad que estos países necesitan para hacer frente a las emisiones atmosféricas de fuentes móviles. (Lovera y otros, 2012).

El modelo IVE es una herramienta para ayudar a las ciudades y regiones a desarrollar estimaciones de las emisiones mediante lo descrito según Lovera y otros (2012)

- Enfoque de estrategias de planificación y control de la transportación para que esta sea más efectiva.
- Predecir como diferentes estrategias afectarán las emisiones locales; y
- Medición de la reducción progresiva de emisiones a través del tiempo.

Existen tres componentes fundamentales para modelar y desarrollar inventarios de emisiones de fuentes móviles: 1) tasas de emisión de vehículos; 2) actividad vehicular; y 3) distribución de la flota vehicular. El modelo IVE está creado para utilizar la información existente para desarrollar inventarios de fuentes móviles fácilmente. (Lovera y otros, 2012)

El modelo IVE estima las emisiones de los vehículos de motor. Su propósito principal es ser utilizado en países en desarrollo. El modelo puede predecir los contaminantes atmosféricos locales, las emisiones de gases de efecto invernadero y los contaminantes tóxicos. El modelo requiere dos archivos de entrada para describir las actividades de la flota y los vehículos, es decir, el comportamiento de conducción en lugares de interés. (Lovera y otros, 2012)

El proceso básico de predicción de emisiones mediante el modelo IVE comienza con la recopilación de datos experimentales para posteriormente encontrar la tasa básica de emisión calculada por la potencia específica del vehículo (VSP) y una serie de factores de corrección a aplicar. Estimar la contaminación de varios tipos de vehículos. (Crespi, 2008).

Por lo que se puede concluir que la metodología IVE presenta más fortalezas comparándola con los otros dos modelos ya que abarca los tres tipos de emisiones que existen y también calcula GEI, mientras que la metodología COPERT solo calcula emisiones de tubo de escape y evaporativas, aparte de ser diseñada para

la Unión Europea presentando menos versatilidad en países con distintas condiciones, y la metodología IPCC solo calcula emisiones de GEI.

## **2.8. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DE LOS INVENTARIOS DE FUENTES MÓVILES EN QUITO**

En los últimos años, Estados Unidos ha experimentado un crecimiento demográfico y urbano considerable. Como resultado, la contaminación del aire ha aumentado al expandir las industrias de transporte, producción y consumo de energía para satisfacer las necesidades básicas. Estos factores ocurren en ciudades de ingresos bajos, medios y altos (WHO, 2016). La contaminación atmosférica es el principal riesgo ambiental para la salud en el continente. La Organización Mundial de la Salud estimó que una de cada nueve muertes en todo el mundo está relacionadas con la contaminación atmosférica.

Al comparar el cumplimiento de los límites máximos permisibles de la OMS entre los países de bajos y altos recursos en el continente, más del 80% de las ciudades de ingresos altos evaluadas cumplen con las directrices, mientras que menos del 10% de las ciudades de ingresos medio bajos cumplen con las directrices, de las cuales la mayoría de las regiones que no cumplen con las directrices se encuentran en América del sur (WHO, 2016).

Desafortunadamente, en América del Sur, la transparencia, consistencia y precisión que requieren los inventarios de emisiones no siempre están disponibles, porque las emisiones que procesan provienen de diferentes lugares y las emisiones de estos lugares no son representativas del continente. Condiciones específicas en algunas zonas.

En muchas capitales y ciudades de América del Sur que están creciendo a un ritmo alarmante, la calidad del aire es un problema común. Las medidas propuestas se basan en métodos sencillos que utilizan la experiencia de los países desarrollados, que involucran estimaciones de emisiones y modelos de emisión. (Guadalupe, 2016).

### 2.8.1. INVENTARIOS DE FUENTES MÓVILES EN QUITO

Hay que señalar que Quito constituye un caso muy vulnerable a la contaminación atmosférica por sus características que se resaltan a continuación, según Páez (2005):

- Su altitud: Con una altitud promedio de 2.800 metros (mar) hace que el aire de Quito contenga naturalmente menos oxígeno. Comparado con el proceso a nivel del mar, esto afectará la eficiencia de combustión de los combustibles fósiles, haciéndolo más eficiente en equipos como generadores, incineradores industriales o motores de vehículos, aumentando así las emisiones contaminantes.
- Topografía: Quito presenta la forma de una cuenca que tiene en las elevaciones del ramal occidental de la Cordillera de Los Andes el macizo del Guagua y el Ruco.

El aire está en constante movimiento y las capas que forman el aire suelen estar clasificadas por su temperatura, con el aire más frío circulando en la parte superior de la atmósfera y el aire más caliente circulando en la parte inferior. Cuando se interrumpe este ciclo de movimiento, se formará una capa de aire frío, que permanecerá en el suelo e impedirá la circulación atmosférica. (Ibarra, Parra, Valencia & Páez, 2006).

Las fuentes móviles dentro del DMQ son difíciles de cuantificar, ya que no se poseen factores de emisión propios del distrito, para la altura, presión, temperatura y calidad del combustible, por lo que se toman como referencia los factores de emisión del Distrito Federal de México. Por otro lado, la variable de actividad dentro del DMQ se estima mediante tendencias de movilidad (Baca, 2014).

Dados estas características antes mencionadas, la generación del inventario de fuentes móviles posee valores, que han sido calculados y obtenidos, con calidad

de información entre baja y muy baja. Por lo que se plantean ciertas recomendaciones que solventen estos problemas en el CAPÍTULO V.

## 2.8.2. REVISIÓN CRÍTICA DE LOS INVENTARIOS DE EMISIONES EN QUITO

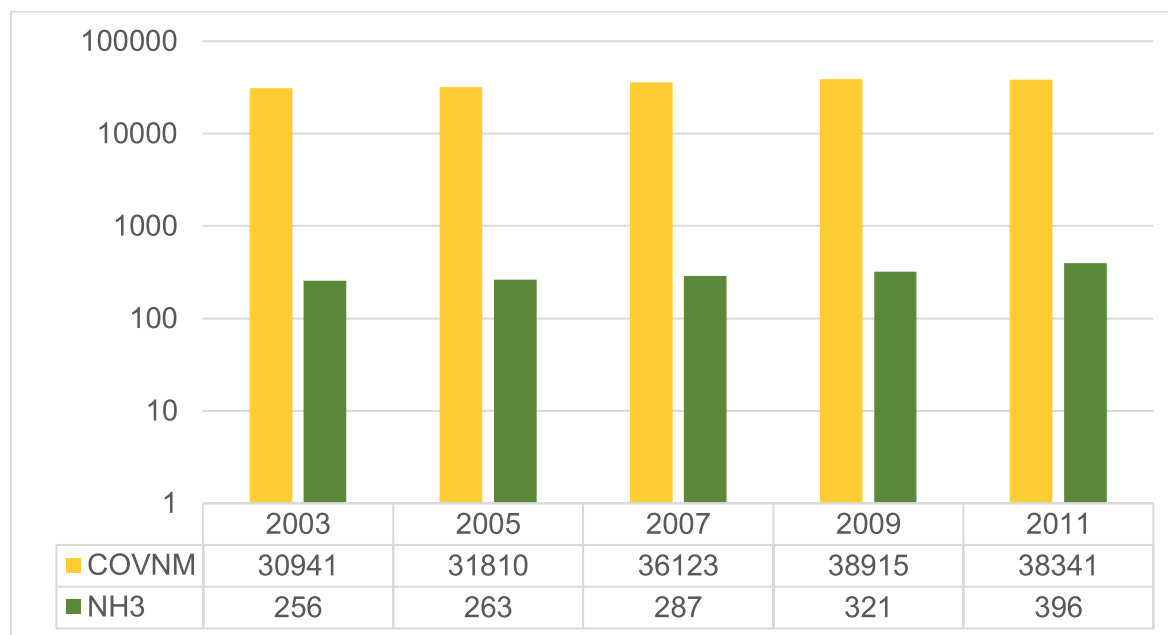
En el DMQ existen inventarios para los años 2003, 2005, 2007, 2009 y 2011. Los cuales siguen la misma metodología, a continuación, en la Tabla No 7 se mostrará las emisiones anuales de cada contaminante para los distintos años de análisis, tomando en cuenta la generación total de emisión entre fuentes fijas y móviles.

**Tabla No 7** Emisiones anuales en Quito t/año

ton/año	2003	2005	2007	2009	2011
<b>Contaminantes precursores</b>					
<b>COVNM</b>	30 941	31 810	36 123	38 915	38 341
<b>NH<sub>3</sub></b>	256	263	287	321	396
<b>Contaminantes primarios</b>					
<b>CO</b>	94 593	95 850	103 989	97 939	79 126
<b>NO<sub>x</sub></b>	114	182	197	245	249
<b>SO<sub>2</sub></b>	6 009	14 186	10 212	5 666	4 753
<b>PM<sub>10</sub></b>	4 904	7 080	3 282	3 496	3 292
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	2 409	2 740	1 391	1 346	1 337
<b>Gases de efecto invernadero</b>					
<b>CO<sub>2</sub></b>	2 328 299	3 940 598	3 472 327	3 709 944	3 733 559
<b>NO<sub>2</sub></b>	21 699	42 529	34 315	27 613	25 060
<b>CH<sub>4</sub></b>	9 934	10 317	11 720	15 671	17 323

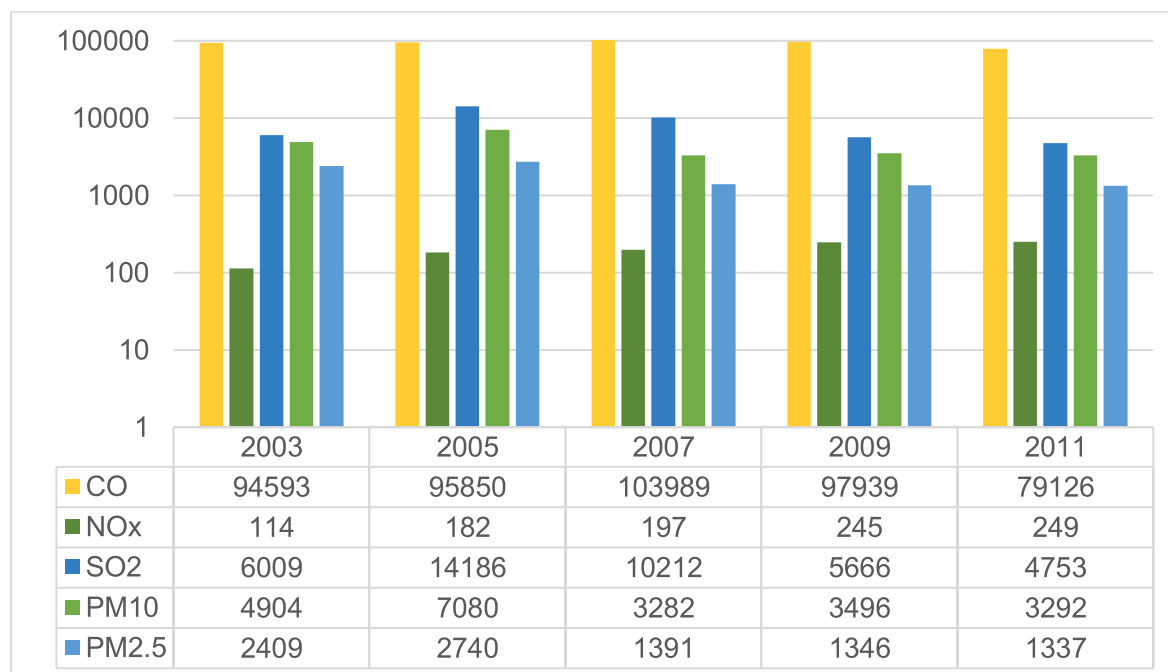
Fuente: Inventarios de emisiones DMQ 2003, 2005, 2007, 2009, 2011

**Gráfico No 29** Evolución histórica de los contaminantes precursores (ton/año) en los Inventarios de fuentes móviles en el DMQ



Fuente: Baca, 2014

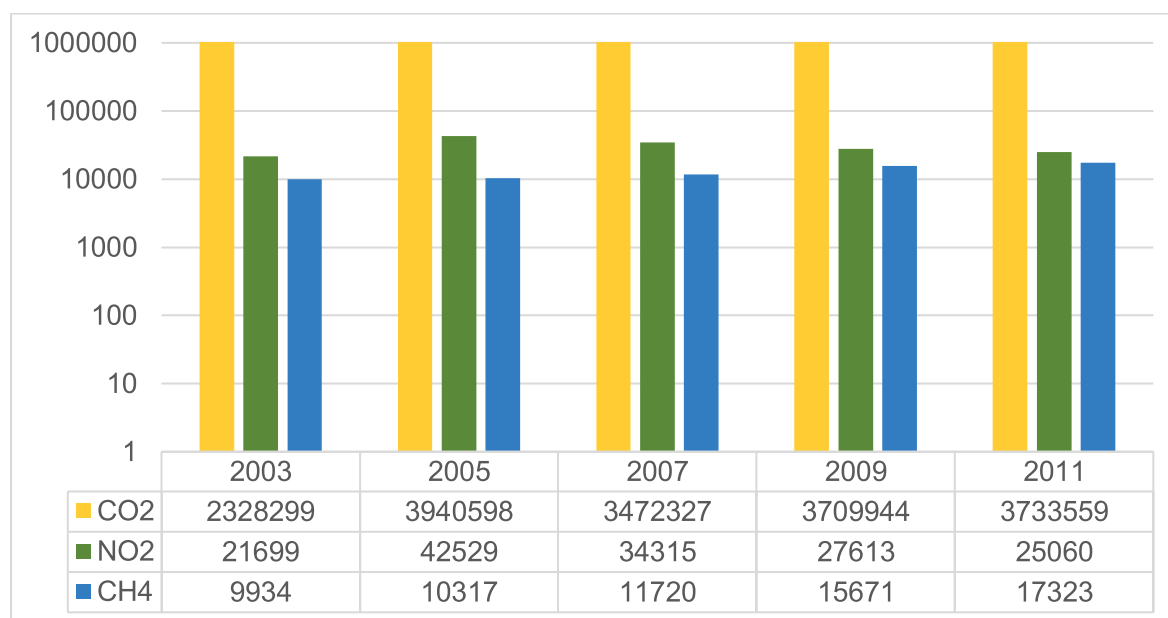
**Gráfico No 30** Evolución histórica de los contaminantes primarios (ton/año) en los Inventarios de fuentes móviles en el DMQ



Fuente: Baca, 2014



**Gráfico No 31** Evolución histórica de los GEI (ton/año) en los Inventarios de fuentes móviles en el DMQ



Fuente: Baca, 2014

En el Gráfico No 30 y el Gráfico No 31 se observa una disminución de concentración de ciertos contaminantes a través de los años, las variaciones en las emisiones de CO y NOx se explican por la modernización del parque vehicular en el DMQ, la aplicación de la RTV y, durante el, la aplicación de la medida de restricción vehicular “Pico y Placa” la cual afecta directamente a la variable de actividad en el cálculo de las emisiones (Baca; 2014).

La reducción en las emisiones de SO2 se asocia principalmente a la calidad del combustible, en Ecuador en noviembre del 2011 se inició el proceso de mejora de combustibles el mismo que ayudará a reducir costos de mantenimiento de los vehículos y permitirá un mejor funcionamiento y rendimiento de los motores (EP Petroecuador, 2012). Las mejoras incluyen el aumento de la calidad de octanaje para la gasolina Extra de 81 a 87 octanos y la gasolina Súper, de 90 a 92 octanos. Además, la reducción del contenido de azufre, de 2000 a 650 (ppm), tanto en la gasolina Extra como en la gasolina Súper (EP Petroecuador, 2012).

**Tabla No 8** Origen de la información utilizada en los anteriores inventarios

Fuentes móviles	Información
<b>Vehículos en vías Factores de emisión CO, NOx, HCT</b>	SMA(b), Fuentes Móviles A-107 a 111; SMA(c), A-74 a A-76
<b>Factores de emisión PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub></b>	CARB, 2000: 4.12
<b>Factores de emisión gradiente</b>	Hassel y Webwer, 1997: Tablas 2 y 10
<b>Factores de emisión GEI</b>	IPCC(a), 1997: 1-1 a 14
<b>Balance de Materiales SO<sub>2</sub></b>	DNH, 2007: Tablas, Petro industrial Tablas
<b>Modelo de emisión COVNM, CH<sub>4</sub></b>	EPA(c), 2005
<b>Actividad mensual</b>	AEADE, 2005: Tablas; CNT, 2005: Tablas; Petroindustrial: Tablas
<b>Actividad horaria</b>	EMSAT, 2005: Tablas
<b>Particular liviano y camioneta</b>	Encuesta CORPAIRE
<b>Taxi, buseta, bus, pesado</b>	Mena, 2004: Tablas
<b>Buseta, moto: SMA(b), 2005</b>	Fuentes Móviles A-100
<b>Distribución espacial</b>	León y Godoy, 2004, archivo SHP modelo 2005; procesamiento CORPAIRE

Fuente: Baca, 2014

La información utilizada para los inventarios realizados en el 2003 al 2011 poseen factores de emisión que no son propios de Quito, es decir estos no se encuentran calculados bajo las condiciones de presión, temperatura y calidad del combustible propia del sector, por otro lado, la actividad se calcula mediante la estimación socioeconómica de cada administración zonal de la ciudad junto al balance de materiales y expendio de combustibles.

Dadas esta carencia de factores de emisión propios del DMQ se ha optado por realizar investigaciones para la búsqueda de estos, de los cuales se pueden destacar las siguientes:

Factores de emisión en base a la altura generados por Portilla y Caiza (2010). Este estudio se realizó en un vehículo Chevrolet Vitara de 3 puertas y cilindraje de 1600cc, fabricado en el 2002.

**Tabla No 9** Factores de emisión en base a la altura para vehículos con motor de ciclo Otto

<b>Altura (msnm)</b>	<b>CO (g/km)</b>	<b>HC (g/km)</b>	<b>NOx (g/km)</b>
<b>0</b>	10,04	0,1830	0,1410
<b>500</b>	11,04	0,3330	0,1910
<b>1000</b>	12,04	0,4830	0,2410
<b>1500</b>	13,04	0,6330	0,2910
<b>Altura (msnm)</b>	<b>CO (g/km)</b>	<b>HC (g/km)</b>	<b>NOx (g/km)</b>
<b>2000</b>	14,04	0,7830	0,3090
<b>2500</b>	15,04	0,9330	0,2640
<b>3000</b>	16,04	1,0830	0,2190
<b>3500</b>	17,04	1,2330	0,1740

Fuente: Portilla & Caiza, 2010

La evaluación de las emisiones con la altura presenta la posibilidad de utilizar los factores de emisión que se evalúan a nivel del mar, para diferentes alturas, se determinó en las pruebas que el monóxido de carbono (CO) se incrementa en el 10% por cada 500 msnm, los hidrocarburos (HC) 82% cada 500 msnm. Los óxidos de nitrógeno (NOx) crecen en 35% por cada 500 msnm., hasta los 1500msnm, y de ahí decrecen en 23% por cada 500 msnm (Portilla & Caiza, 2010).

También se tienen las investigaciones de Parra (2014) donde se calculan los factores de emisión promedio en base a los circuitos en ruta para dos vehículos observados en la Tabla No 10.

**Tabla No 10** Factores de emisión en la zona urbana de Quito

	<b>CO (g/km)</b>	<b>HC (g/km)</b>	<b>NOx (g/km)</b>
<b>Corsa 2004</b>	53,12	5,69	2,2
<b>Aveo 2013</b>	2,32	0,16	0,3

Fuente: Ocaña y Parra, 2014

Se presentan factores distintos para los modelos del 2004 en comparación con vehículos del 2013 esto se debe principalmente a la tecnología vehicular de cada vehículo, ya que estas aumentan significativamente con el tiempo, además que también influye que el Corsa 2004 al ser un vehículo más antiguo se asume tener condición de mayor uso y por ende mayor deterioro ya que la investigación no establece condiciones del estado de cada vehículo

Es evidente una clara necesidad de mejora para la generación de inventarios, en especial en el cálculo de emisiones por fuentes móviles, donde los puntos clave a mejorar son, el uso de factores de emisión propios del sector y ajustar el cálculo de actividad por datos más acercados a la realidad, disminuyendo el margen de error con estimaciones de este.

Entre las investigaciones de Parra (2014) y Portilla (2010), tomando en cuenta que el DMQ se encuentra a una altura promedio de 2800 msnm podemos observar una clara diferencia entre los factores de emisión, ya que comparando el año de fabricación del vehículo existen ciertas diferencias ya que el vehículo utilizado por Parra fue un Corsa 2004 y el utilizado por Portilla un Vitara 2002, con lo que se observa una gran variación de factores de emisión, en especial en monóxido de carbono (CO), donde el Vitara presenta un factor de emisión mucho menor en comparación al Corsa, esto puede darse principalmente por el estado del vehículo, ya que en la investigación de Portilla se especifica que el estado del mismo es considerablemente bueno, con poco recorrido, mientras que para el estudio de Parra no se considera el estado del vehículo.

Por otro lado, la Secretaría del Ambiente utiliza factores de emisión provenientes del Distrito Federal de México, los cuales se los considera que son similares a los factores dentro del DMQ sin embargo existen pequeñas diferencias, sobre todo en cuanto a la calidad del combustible ya que en Quito se tiene un contenido de azufre de 650 ppm en super y extra y 500 ppm en diésel (Norma técnica para combustibles de uso automotriz que se expenden en el Distrito Metropolitano de Quito, 2013), en México se tiene como máximo una concentración de 80 ppm en gasolina y 15 ppm en diésel, así también existen otras diferencias en sus parámetros de calidad como en el contenido de olefinas y aromáticos (Secretaría del medio ambiente de ciudad de México, 2017).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

Este capítulo presenta la sistematización del trabajo realizado para la obtención de las emisiones vehiculares por fuentes móviles del año 2019 en el Distrito Metropolitano de Quito, incluyendo la recopilación de datos de conteos vehiculares, conteos semafóricos, y el procesamiento de la investigación en países como México, Colombia y España los mismos que sirvieron de soporte para determinar factores de emisión y dispersión de contaminantes atmosféricos.

#### **3.1. MAPA DE TRAFICO VEHICULAR**

A continuación, se detallarán las fuentes de obtención de los datos necesarios para la generación de un mapa de tráfico vehicular del DMQ para el año 2019 en el cual se describe como se obtuvieron los datos de las respectivas fuentes, y como se calcularon los datos inexistentes.

##### **3.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE VEHICULAR**

Las fuentes móviles componen alrededor del 90% de fuentes emisoras de contaminantes en la capital. Se realizó una caracterización del parque vehicular para entender de mejor manera la distribución de los contaminantes (SMA, 2005).

La clasificación del parque automotor en el Distrito Metropolitano de Quito se encuentra bajo la tutela de la Secretaría de Movilidad los datos descritos a continuación han sido obtenidos de la base de datos de la Revisión Técnica Vehicular que se llevó a lo largo del 2019, que especifica:

- Cantidad de vehículos
- Año modelo de cada vehículo
- Categoría de vehículos

**Tabla No 11** Caracterización del parque vehicular, por tipo de vehículos que circulan en el DMQ

<b>CATEGORÍA</b>	<b>CLASE</b>	<b>TOTAL</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
<b>Vehículos livianos</b>	Automóvil particular	222354	60,9
	Taxis	10807	8,4
	Camionetas	41447	11,4
<b>Vehículos pesados</b>	Camiones de carga	21610	5,9
	Furgoneta escolar	7739	2,1
	Furgoneta turismo	35	
<b>Bus Microbús Minibús</b>	Chivas	15	3,0
	Bus escolar	2488	
	Intercantonal	417	
	Interparroquial	816	
	Interprovincial	536	
	Bus turismo	10	
	Bus urbano	5569	
<b>Motos</b>	Moto	30328	8,3

Fuente: Secretaría de Movilidad, 2015

En la Tabla No. 11 se evidencian las categorías de vehículos que circulan dentro del DMQ, como se observa más de la mitad de la flota existente son vehículos livianos generalmente de uso particular, sin embargo, existen también vehículos de uso comercial que prestan servicios a entidades gubernamentales, los cuales ocupan un gran porcentaje del total. La clasificación del parque vehicular fue aporte fundamental en el trabajo de investigación, con ella se categorizaron las diversas fuentes de emisión dentro de la ciudad WHO (2003).

El Anexo 1. Clasificación Vehicular detalla una hoja de Excel, el cual contiene las diferentes categorías vehiculares que contiene el DMQ actualmente desde el año 1942 hasta el 2019, se realizó un filtro para contabilizar los datos conforme a las categorías escogidas.

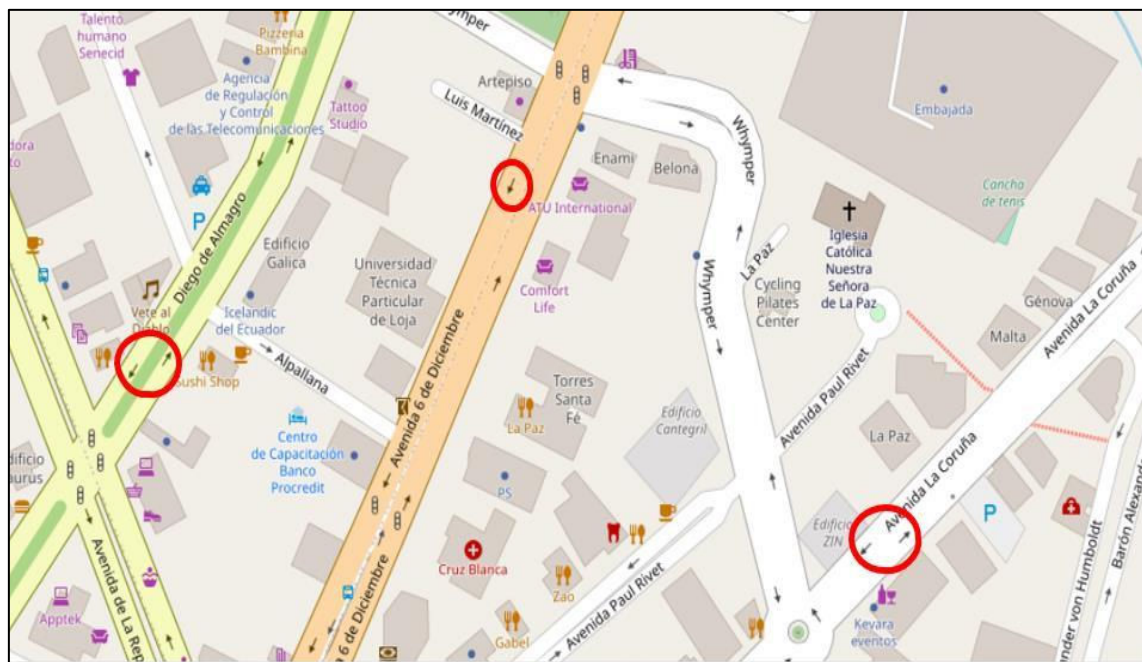
### 3.1.2. DETERMINACIÓN DE VARIABLES ESPACIALES

La zonificación de las emisiones calculadas se ubicó mediante tres variables importantes:

- **Vialidad**

Se determinó por el sentido de cada avenida estudiada dentro del mapa vial del DMQ, en el Gráfico No 32 se representa la elección de los pares donde constan los sentidos viales de Sur-Norte y Este-Oeste.

**Gráfico No 32** Ubicación de sentidos viales.



Fuente: Google Maps

Los documentos Excel recopilados detallan datos como el presentado en la Tabla No 12, con los conteos compilados en un solo documento, se descartaron los datos anómalos para que no arrojen valores fuera de rango.

En la Tabla No 12 dentro de la columna FECHA se encuentran 24 datos por cada día y para cada sentido vial. Se realizó la sumatoria total de las horas durante un día en cada par de sentido vial de la ciudad dependiendo de la avenida a analizar, hasta obtener la sumatoria anual.



**Tabla No 12** Ejemplo de documento Excel con estructura de conteo vehicular

Av. Interoceánica e Ingreso a Puenbo			
Fecha	Hora	Norte - Sur	Sur - Norte
1/1/2019	0	0	141
1/1/2019	1	5	147
1/1/2019	2	0	136
Av. Interoceánica y Redondel de Lumbisi			
Fecha	Hora	Norte - Sur	Sur - Norte
1/1/2019	0	732	568
1/1/2019	1	534	450
1/1/2019	2	430	360

Fuente: Secretaría de Movilidad

- **Conteos vehiculares**

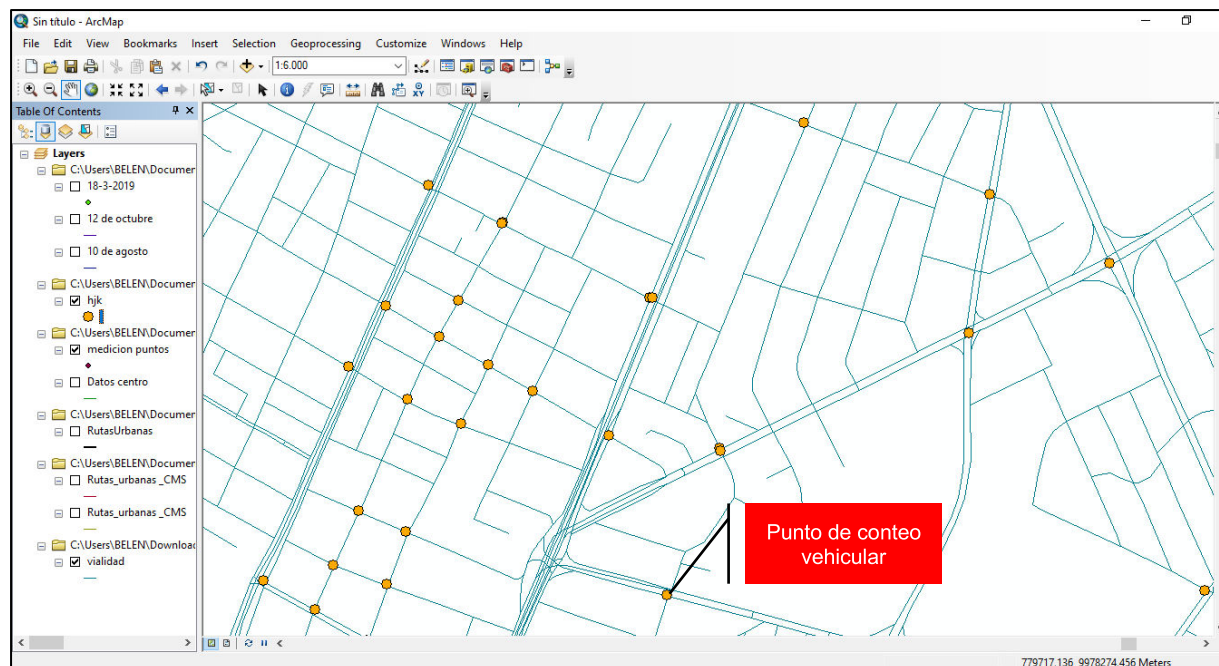
- **Semafóricos:** los datos de conteos automáticos de semáforos inteligentes se separaron para cada mes, para cada día por las 24 horas del día, posteriormente, se calculó el acumulado para cada mes, el cual consistió, en la suma total de vehículos que transitaron por cada punto de conteo, durante todo el mes y a su vez al final se sumaron los meses para saber el total de vehículos que circularon en todo el año.
- **Estacionarios:** se suman la cantidad de vehículos contabilizados durante las 24 horas que estuvo el contador, obteniendo así la cantidad de vehículos que pasan en un día, y esto se multiplico por la cantidad de días de cada mes para obtener así la cantidad de vehículos por mes y por año. Se basó en el supuesto de que la cantidad de vehículos que pasan es igual en todos los días.
- **Manuales:** por otro lado, estos datos se los trataron bajo la suposición de que a cada hora del día circulan la misma cantidad de vehículos, al igual la cantidad será la misma en todos los días de la semana. Por lo que se multiplico el número de vehículos que se contabilizaron en el trayecto de una hora por las 24 horas del día, y a su vez por el número de días de cada mes, obteniendo la cantidad de vehículos mensual y anual.

La cantidad de vehículos existentes en diferentes avenidas se las obtuvo por parte de la Secretaría de Movilidad, debido a que los datos de conteos vehiculares no los posee una sola entidad municipal resultó complicado recopilar las cifras de todo el Distrito Metropolitano de Quito en especial de las zonas que componen la parte periférica de la ciudad. En dichas zonas no se encuentran semáforos inteligentes por lo que la toma de muestras se refiere a conteos manuales o con contadores en zonas estratégicas en hora pico y horas sin mucha afluencia. Por lo cual se realizó el mapa de tráfico vehicular únicamente de la parte urbana de Quito de la cual se logró obtener suficientes datos.

### 3.1.3. PROCESAMIENTO DE LAS VÍAS

Mediante la herramienta computacional ArcMap, se realizó la gráfica de las avenidas con la finalidad de construir el mapa de Quito únicamente con las vías donde se describían datos de conteos vehiculares.

#### Gráfico No 33 Mapa de vías DMQ

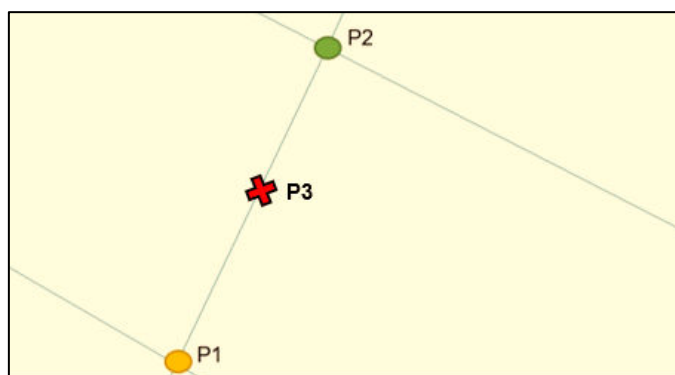


Fuente: ArcMap

En el Gráfico No 33 se presenta la construcción del mapa de Quito, se realizó la gráfica de cada vía por la cual interceptaba un punto amarillo, el cual representa un punto de conteo de tráfico vehicular.

Con la finalidad de abarcar mayor territorio se realizaron interpolaciones de puntos que poseían datos de conteos vehiculares hacia puntos vacíos para que los datos se distribuyan a lo largo de la recta que une los dos puntos mencionados.

### Gráfico No 34 Interpolación de datos faltantes



Fuente: ArcMap

Dentro del Gráfico No 34 se identifica la lógica de la interpolación de datos, P1 y P2 representan los puntos que poseen datos de conteos vehiculares, mientras P3 no posee datos de conteos vehiculares, al realizar la media entre los dos puntos conocidos obtenemos un valor para los datos intermedios.

En este caso utilizando ArcMap la interpolación predice valores para las celdas del ráster (mapa de vías) a partir de la cantidad limitada de puntos de datos (conteos vehiculares) en ciertas zonas de la ciudad. Se utilizó para prever valores desconocidos de cualquier avenida en ciertos puntos geográficos estratégicos, por ejemplo, la parte rural de la capital (Ibarra & otros, 2006).

## 3.2. SISTEMATIZACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Se dará una ponderación cualitativa en base a la cantidad y calidad de información tanto para la actividad como para los factores de emisión.

La ponderación se realizará asignando una letra asociada a una calidad, conforme se explica a continuación:

- Categoría A, calidad muy alta. El detalle de la información es suficiente para éste y futuros inventarios.
- Categoría B, calidad alta. El detalle de la información es bueno, pero se podrían tomar acciones para disminuir la incertidumbre.
- Categoría C, calidad media. Se requiere información de mayor detalle cuando los recursos estén disponibles.
- Categoría D, calidad baja. Deben tomarse acciones en el mediano plazo para reducir la incertidumbre de éste y de los futuros inventarios.
- Categoría E, calidad muy baja. Deben tomarse acciones inmediatas para reducir la incertidumbre de éste y de los futuros inventarios.

Luego a estos resultados se los combina por actividad y factores de emisión, mediante una matriz de calificación de estimación de emisiones, la cual se muestra a continuación.

**Tabla No 13** Matriz de incertidumbre

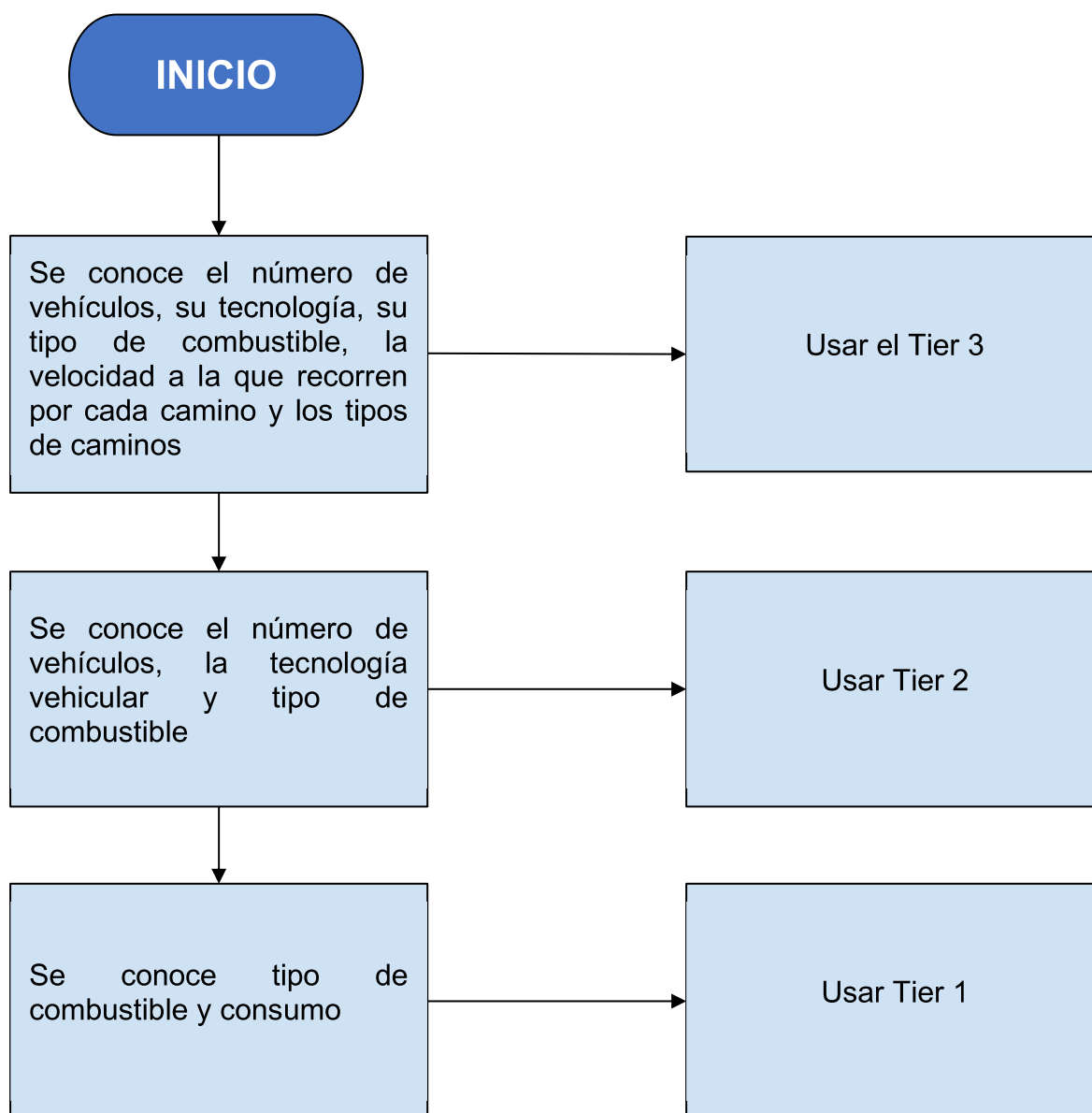
Actividad	Factor de emisión				
	A	B	C	D	E
A	A	A	B	C	C
B	A	B	B	C	D
C	B	B	C	C	D
D	C	C	C	D	D
E	C	D	D	D	E

Fuente: (CORPAIRE, 2006)

Para categorizar la incertidumbre en base a el inventario propuesto se debe seleccionar un Tier. El Tier es el nivel que se asigna a la fiabilidad de datos basado en la fuente y cantidad de estos (Conde, L., 2008).

Cada tier, es decir cada método tiene sus propios factores de emisión, el Tier No 3 es el más cercano a la realidad, ya que demanda una mayor cantidad de datos para su aplicación, que es el usado en Europa mediante el método COPERT.

**Gráfico No 35** Diagrama de flujo para selección de Tier para método de cálculo de emisión



Cabe mencionar el Tier No 1 es el más aplicable en la mayoría de los casos ya que únicamente se necesita de un número de vehículos y el combustible que ocupan.

El Tier No 2 será el método seleccionado para el trabajo de titulación, ya que se ajusta a las necesidades y también a la cantidad de datos que se obtuvo.

### **3.3. CÁLCULO DE LA EMISIÓN**

El procedimiento de cálculo de la emisión se lo realizó con lo indicado por el nivel Tier No 2 debido a la accesibilidad a datos de calidad ya que se acomoda a las necesidades de construcción del inventario y además a la cantidad de datos obtenidos. La emisión se calculó para material particulado de diez micras ( $PM_{10}$ ), material particulado de dos y media micras ( $PM_{2,5}$ ), óxido de carbono (CO), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), compuestos orgánicos volátiles (COV) y dióxido de azufre ( $SO_2$ ).

En el informe final inventario de emisiones contaminantes criterio 2011 se toma en cuenta el cálculo de emisión anual de amoníaco ( $NH_3$ ) por ser precursor de la generación de material particulado de dos micras y media ( $PM_{2,5}$ ) (Baca, J., 2014), sin embargo, se aclara que no se lo tomo en cuenta para la generación del presente inventario ya que no se forma como un producto de la combustión de combustible en fuentes móviles.

#### **3.3.1. MODELO BÁSICO DE CONSTRUCCIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES**

En general, la determinación del inventario se basa en la determinación de actividades, evaluación y procesamiento sistemático, cuantitativo y temporal y espacial de las emisiones de diferentes actividades o procesos que se determinan como fuentes; por ejemplo: el número de horas de operación por año para ciertos equipos y vehículos por año El número de kilómetros recorridos, las toneladas de producción anual de ciertos procesos; y los factores de emisión relacionados,

expresados en términos del número de contaminantes en la actividad de la unidad fuente.

El modelo básico que se emplea para construir un inventario de emisiones es el siguiente:

$$E_{ij} = FE_{ij} \times VA_j$$

Donde:

$E_{ij}$ : emisión de un contaminante (i) en una actividad (j)

$FE_{ij}$ : factor de emisión de la sustancia o mezcla (j) para la actividad (i).

$VA_j$ : variable de actividad de la fuente (i) durante el tiempo (t).

- **Factor de emisión**

Puede entenderse como la relación entre la cantidad de contaminantes vertidos a la atmósfera y la unidad de actividad. Generalmente, los factores de emisión se clasifican de dos formas: basados en procesos y basados en censos. El primero se utiliza para estimar las emisiones de fuentes puntuales y el segundo, en algunos casos, se combina con datos de actividad recopilados de encuestas o bases de datos. Por otro lado, los factores de emisión basados en el censo se utilizan para estimar las emisiones de fuentes regionales (EPA, 2000).

Para fuentes móviles, el factor de emisión normalmente es expresado como la cantidad de contaminante liberado a la atmósfera con relación a la cantidad de combustible consumido o a la distancia recorrida (Gaitán & Cárdenas, 2017).

El factor de emisión puede ser obtenido mediante diferentes formas aprobadas en distintos países, por:

- Medición directa a través de analizadores de emisiones de gases utilizados en las pruebas de dinamómetro de chasis, en el caso de vehículos a gasolina y motocicletas

- Un banco de pruebas para motores pesados, en el caso de vehículos a diésel.
- Un balance de masa, haciendo la aplicación inversa de modelos de dispersión en condiciones controladas (túneles vehiculares y cañones urbanos) o, a través de estudios e investigaciones realizados a nivel nacional e internacional,

Los factores de emisión para fuentes móviles pueden ser obtenidos directamente de modelos de emisión o en documentos compilatorios como la Guía de inventarios de emisiones contaminantes al aire de la Agencia Ambiental Europea (EMEP/EEA, 2016).

- **Variable de actividad**

Los datos de actividad están estrechamente relacionados con el proceso de emisión. Para procesos fijos y procesos de fuente móvil, a diferencia de los procesos industriales, los datos de actividad generalmente se expresan en términos de tasa de procesamiento de peso (cantidad de materiales utilizados o fabricados por mes) y los equipos de combustible, los datos se expresan en términos de tasa de consumo de combustible (cantidad por hora o mes) (EPA, 2000).

Para fuentes móviles, usualmente el factor de actividad está relacionado con la distancia recorrida por un vehículo. En los inventarios de emisiones este factor representa la distancia total recorrida por una población de vehículos en un periodo de tiempo determinado. De igual manera, para diferentes estudios, el factor de actividad también puede referirse al consumo de combustible del vehículo (Gaitán & Cárdenas, 2017).

La información sobre la actividad de los vehículos se puede obtener del modelo de transporte aplicable al área de estudio o del conteo de vehículos en circulación, esta información se denomina: volumen promedio de tránsito diario. Existen otras fuentes que se pueden utilizar para estimar datos basados en otros parámetros



alternativos (como el consumo regional de combustible, características detalladas de la flota o encuestas de usuarios directos) (CONAMA, 2009).

### 3.3.2. FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión se obtuvieron mediante la recopilación de información de diferentes fuentes, obteniendo así factores para cada diferente categoría vehicular antes detallada. De modelaciones para el inventario de Bogotá Colombia realizado por la Secretaría Distrital del Ambiente de Bogotá (2019) se obtuvieron factores para Automóviles, Camionetas, Microbús, Carga y motos, sin embargo, los factores de emisión de CO y NOx de automóviles se usaron de un estudio realizado en Quito por Portilla (2010). Los factores de emisión para buses y busetas se tomaron de la unión europea, normas Euro II y III, debido a que los vehículos de esta categoría aplican este tipo de normativa europea.

**Tabla No 14** Bibliografía de factores de emisión

<b>Categorías</b>	<b>Referencia para Factores de emisión</b>
auto	Portilla 2010, Secretaria Distrital del Ambiente Bogotá, 2019
taxi	Portilla 2010, Secretaria Distrital del Ambiente Bogotá, 2019
camionetas	Secretaria Distrital del Ambiente Bogotá, 2019
microbús	Secretaria Distrital del Ambiente Bogotá, 2019
busetas 1995	Euro II, Subsecretaria de Medio Ambiente México D.F.,2007
busetas 2019	Euro II y III, Subsecretaria de Medio Ambiente México D.F.,2007
buses 1995	Euro II, Subsecretaria de Medio Ambiente México D.F.,2007
buses 2019	Euro II y III, Subsecretaria de Medio Ambiente México D.F.,2007
carga	Secretaria Distrital del Ambiente Bogotá, 2019, Subsecretaria de Medio Ambiente México D.F.,2007
motos	Secretaria Distrital del Ambiente Bogotá, 2019

Fuente: Secretaria Distrital del Ambiente Bogotá; Portilla; Euro

El Anexo 2 contiene los cálculos realizados para obtener el factor de emisión, se realizó una clasificación de los factores de emisión de acuerdo con la conveniencia estudiada en el CAPÍTULO 2 del presente documento.

- **Selección del factor de emisión**

El documento anexo 2 retrata la categorización de los diversos factores ordenados por tipo de fuente emisora y dedicados a cierto año. Se realizó una filtración y escogimiento de datos conforme lo indica la Tabla No 14.

**Tabla No 15** Factores de emisión por tubo de escape

	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	VOC
	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km
<b>Automovil</b>	0,025	0,023	344,7	9,08	1,44	0,062	1,05
<b>Taxi</b>	0,025	0,022	344,9	9,00	1,41	0,062	0,34
<b>Camionetas</b>	0,021	0,019	452,3	17,88	2,42	0,081	2,29
<b>Microbus</b>	0,487	0,448	2286,9	6,76	5,66	0,022	1,78
<b>Busetas hasta 1995</b>	0,237	0,218	1087,8	16,27	12,58	0,027	1,51
<b>Busetas 1995 - 2019</b>	0,076	0,070	1139,2	6,76	1,28	0,026	0,66
<b>Buses hasta 1995</b>	0,253	0,233	1290,1	16,27	12,58	0,027	1,51
<b>Buses desde 1995 - 2019</b>	0,128	0,118	1374,6	6,76	1,28	0,026	1,27
<b>Bus articulado hasta 1995</b>	0,253	0,233	1290,1	16,27	12,58	0,027	1,51
<b>Bus articulado 1995- 2019</b>	0,128	0,118	1374,6	6,76	1,28	0,026	1,27
<b>Carga</b>	1,284	1,181	1401,6	6,17	5,66	0,042	1,60
<b>Motocicletas</b>	0,008	0,007	149,8	26,75	0,80	0,049	0,02

Fuente para CO, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, COV: Secretaría Distrital Del Ambiente Bogotá, 2019. Para CO, NO<sub>x</sub> de Automóvil y Taxis: Portilla, 2010. Para NO<sub>x</sub>, CO de Buses, Carga, Busetas Subsecretaria del Medio Ambiente México D.F. 2007.

**Tabla No 16** Factores de emisión por evaporación.

	<b>Factores de Emisión de VOC</b>		
	<b>Evaporación diurna</b>	<b>Apagado</b>	<b>Pérdidas en recorrido</b>
	<b>(g/vehículo año)</b>	<b>(g/vehículo año)</b>	<b>(g/km año)</b>
<b>Automóvil</b>	152,5	409,5	0,04
<b>Taxi</b>	152,5	409,5	0,04
<b>Camionetas</b>	152,5	409,5	0,04
<b>Microbús</b>	152,5	409,5	0,04
<b>Busetas hasta 1995</b>	319,4	2545,1	0,215

**Tabla No 17** Factores de emisión por evaporación (continuación...)

	<b>Evaporación diurna</b>	<b>Apagado</b>	<b>Pérdidas en recorrido</b>
	<b>(g/vehículo año)</b>	<b>(g/vehículo año)</b>	<b>(g/km año)</b>
<b>Busetas 1995 - 2019</b>	152,5	409,5	0,04
<b>Buses hasta 1995</b>	319,4	2545,1	0,215
<b>Buses desde 1995 - 2019</b>	152,5	409,5	0,04
<b>Bus articulado hasta 1995</b>	319,4	2545,1	0,215
<b>Bus articulado 1995- 2019</b>	152,5	409,5	0,04
<b>Carga</b>	152,5	409,5	0,04
<b>Motocicletas</b>	152,5	409,5	0,04

Fuente: Inventarios Nacionales de emisiones atmosféricas de España, 2012.

En la Tabla No. 17 las pérdidas en recorrido son las únicas que dependen de la distancia recorrida, mientras que los factores para evaporación, diurna y con el vehículo apagado son por cada vehículo anuales.

**Tabla No 18** Factores de emisión por abrasión (ruedas y frenos)

<b>Factores de emisión (ruedas y frenos)</b>		
<b>g/ km año</b>	<b>PM10</b>	<b>PM2,5</b>
<b>Automóvil</b>	0,0138	0,0074
<b>Taxi</b>	0,0138	0,0074
<b>Camionetas</b>	0,0138	0,0074
<b>Microbús</b>	0,0216	0,0117
<b>Busetas hasta 1995</b>	0,0216	0,0117
<b>Busetas 1995 - 2019</b>	0,0216	0,0117

**Tabla No. 19** Factores de emisión por abrasión (ruedas y frenos) (continuación...)

<b>Factores de emisión (ruedas y frenos)</b>		
<b>g/ km año</b>	<b>PM10</b>	<b>PM2,5</b>
<b>Buses hasta 1995</b>	0,059	0,0316
<b>Buses desde 1995 - 2019</b>	0,059	0,0316
<b>Bus articulado hasta 1995</b>	0,059	0,0316
<b>Bus articulado 1995- 2019</b>	0,059	0,0316
<b>Carga</b>	0,059	0,0316
<b>Motocicletas</b>	0,0064	0,0034

Fuente: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 1.A.3.B.vi, 2019.

**Tabla No 20** Factores de emisión por abrasión (superficie de la vía)

<b>Factores de emisión (Superficie de la Vía)</b>		
<b>g/ km año</b>	<b>PM10</b>	<b>PM2,5</b>
<b>Automóvil</b>	0,0075	0,0041
<b>Taxi</b>	0,0075	0,0041
<b>Camionetas</b>	0,0075	0,0041
<b>Microbús</b>	0,0075	0,0041
<b>Busetas hasta 1995</b>	0,0075	0,0041
<b>Busetas 1995 - 2019</b>	0,0075	0,0041
<b>Buses hasta 1995</b>	0,038	0,0205
<b>Buses desde 1995 - 2019</b>	0,038	0,0205
<b>Bus articulado hasta 1995</b>	0,038	0,0205
<b>Bus articulado 1995- 2019</b>	0,038	0,0205
<b>Carga</b>	0,038	0,0205
<b>Motocicletas</b>	0,003	0,0016

Fuente: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 1.A.3.B.vii, 2019.

### 3.3.3. ACTIVIDAD

Los componentes cálculo de la actividad proviene de la Secretaría de Movilidad específicamente de la base de datos de la Revisión técnica Vehicular la cual almacena los principales valores de estado vehicular, fecha de fabricación, kilometraje. En este caso el valor a obtener fue el de kilómetros recorridos anualmente, para la determinación se realizó una comparación entre los años de análisis 2018 y 2019.

Mediante el programa computacional Excel se compararon los datos anuales por medio de la columna de PLACA que se evidencia en la Tabla No 15, con el fin de obtener un valor en común entre los dos archivos.

Tras la comparación se depuraron los valores de los dos años, con los que se realizó una resta individual para obtener el recorrido de cada vehículo durante su año de circulación, columna RECORRIDO en la Tabla No 21.

Cabe resaltar que únicamente se consideraron a los vehículos que anualmente realizaron el proceso de matriculación vehicular en el DMQ y que constan en la base de datos.

**Tabla No 21** Excel de la Revisión Técnica Vehicular

PLACA	AÑO DE FABRICACION	TIPO	SUB TIPO	VALOR 2019	VALOR 2018	RECORRIDO
PSE0755	1996	LIVIANO	AUTOMOVIL 4 TIEMPOS	217192	207190	10002
PNA0394	2001	LIVIANO	AUTOMOVIL 4 TIEMPOS	322212	312198	10014
PRZ0981	2009	LIVIANO	AUTOMOVIL 4 TIEMPOS	318564	308531	10033
PNA0394	2015	LIVIANO	AUTOMOVIL 4 TIEMPOS	322239	312198	10041

Fuente: Secretaría de Movilidad, 2010

Una vez obtenido el recorrido vehicular se procedió a clasificar los vehículos por años de fabricación esto con el objetivo de emparejar los factores de emisión y tener rangos estratégicos, como lo muestra la Tabla No 22.

**Tabla No 22** Clasificación de datos por categoría vehicular

	AUTOMOVIL	TAXI	CAMIONETA	MICROBUS	BUSETA	ARTICULADOS	BUS	CARGA	MOTOCICLETA
<1995	14162	0	3650	0	334	52	67	290	113
1996	1812	0	488	1	57	0	5	18	16
1997	1766	0	424	0	24	0	7	53	20
1998	2763	0	658	3	68	0	16	159	21
1999	2057	1	602	4	68	70	80	127	16
2000	421	0	100	0	9	0	7	17	12

Fuente: Secretaría de Movilidad, 2010

En la Tabla No 22 los casilleros verdes representan la inexistencia de vehículos que compongan a dicha categoría.

El Anexo 1 contiene los datos obtenidos de la Revisión Técnica vehicular.

### 3.4. MAPA DE EMISIONES

Se utilizó el mapa de tráfico vehicular para ubicar espacialmente las fuentes de emisión a lo largo del año 2019 por lo cual, al igual que lo explicado en el subcapítulo 3.1.2. DETERMINACIÓN DE VARIABLES ESPACIALES se realizan los mapas de emisiones únicamente de la parte urbana del DMQ.

Se calculo la emisión en todos los puntos de conteos vehiculares siguiendo la metodología ya explicada en el subcapítulo 3.3. CÁLCULO DE LA EMISIÓN para todas las categorías ya previamente descritas, posteriormente se procedió a realizar interpolaciones entre los puntos de emisión, igual a lo descrito para la generación del mapa de tráfico vehicular obteniendo así siete mapas uno por cada contaminante a analizar del aire, en los cuales se analizó el comportamiento de

cada uno de ellos de manera anual con el objetivo de observar los puntos pico a lo largo del tiempo.

Se escogió realizar el procesamiento de datos en jornadas anuales debido a que los inventarios de emisiones a nivel mundial se realizan con la misma dinámica. Dicho mapa cuenta con un sistema interactivo para que el usuario consiga ubicar espacialmente las emisiones generadas por fuentes móviles en determinados puntos de la ciudad, lo que genera el posicionamiento real de la emisión estimada en sectores estratégicos con el objetivo de crear políticas medioambientales que contribuyan al mejoramiento de la zona.

El Anexo 4 Excel de distribución de puntos de conteos vehiculares, hace referencia a la recopilación de datos y cálculo de emisiones vehiculares, con los que fue posible la estructura del mapa de emisiones vehiculares.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

A lo largo de este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el proyecto de titulación, los cuales sirven de base para profundizar los estudios sobre calidad del aire en la capital y realizar mayores esfuerzos al momento de recopilar datos.

#### 4.1. CÁLCULO DE ACTIVIDAD (NÚMERO DE VEHÍCULOS, DISTANCIA RECORRIDA POR VEHÍCULOS)

La actividad es la cantidad de vehículos existentes por la distancia recorrida, ambas se las obtuvo de la base de datos de la revisión técnica vehicular en Quito.

**Tabla No 23** Número de vehículos presentados a la revisión técnica vehicular (RTV) del 2019

Número de vehículos		Porcentaje (%)	Distancia recorrida (km)
Automóvil	222354	59,76	30689
Taxi	30841	8,29	42195
Camionetas	41439	11,14	35994
Microbús	2343	0,63	51897
Busetas hasta 1995	334	0,09	60368
Busetas 1995 - 2019	14147	3,80	50988
Buses hasta 1995	67	0,02	72000
Buses desde 1995 - 2019	10740	2,89	99062
Bus articulado hasta 1995	52	0,01	224765
Bus articulado 1995- 2019	402	0,11	78340
Carga	23743	6,38	54382
Motocicletas	25593	6,88	25848
<b>Total</b>	<b>372055</b>	<b>100,00</b>	<b>826526,98</b>

Fuente: RTV, 2019.

Se puede observar que la mayor cantidad de vehículos que se movilizan en el DMQ son automóviles con 59,84 %, seguidos a su vez por camionetas con un 11,15%.



La distancia recorrida promedio por cada categoría de vehículo en el DMQ es mayor para las categorías que prestan servicios netos de movilidad, es decir los buses y las busetas, sin embargo, se nota un aumento significativo en las distancias recorridas por la categoría de buses articulados hasta 1995, lo que nos indica que para el 2019, se usaron por más recorrido en el sistema de buses articulados de Quito unidades con años menores a 1995.

**Tabla No 24** Número de vehículos por tipo de combustible presentados a la RTV del 2019

Tipo de combustible	Número de vehículos	Porcentaje (%)
Gasolina	320227	86,2
Diésel	51374	13,8

Fuente: RTV, 2018, 2019.

La Tabla No 24 expresa que en la ciudad de Quito la mayoría del parque automotor funciona a gasolina, la cual se caracteriza por las categorías de vehículos livianos, es decir automóviles, motocicletas y camionetas, por otro lado, los vehículos que usan diésel como fuente de combustible se encuentran en una notable menor cantidad, a su vez, estos son representados por vehículos pesados, es decir buses, busetas, vehículos de carga y buses articulados.

Al analizar las Tablas No 23 y No 24 en conjuntos se puede obtener también que los vehículos de diésel son los que poseen el mayor recorrido promedio anual en el 2019 debido a que la mayoría de los vehículos de esta categoría son para transporte masivo.

## 4.2. CÁLCULO DE LA EMISIÓN

A continuación, en las Tablas No 25, No 26 y No 27 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los distintos tipos de emisión generadas por las fuentes móviles.

**Tabla No 25** Emisión por tubo de escape

	PM10	PM2,5	CO2	CO	NOX	SO2	VOC
Emisiones tubo de escape	t/año	t/año	t/año	t/año	t/año	t/año	t/año
<b>Automóvil</b>	167	154	2352028	107407	2016	423	7179
<b>Taxi</b>	33	29	448881	20483	385	81	440
<b>Camionetas</b>	31	28	674606	26670	3611	121	3415
<b>Microbús</b>	59	54	278077	822	689	3	217
<b>Busetas hasta 1995</b>	5	4	21934	328	254	1	30
<b>Busetas 1995 - 2019</b>	55	50	821730	4874	922	19	479
<b>Buses hasta 1995</b>	1	1	6223	78	61	0	7
<b>Buses desde 1995 - 2019</b>	136	126	1462482	7189	1360	28	1350
<b>Bus articulado hasta 1995</b>	3	3	15078	190	147	0	18
<b>Bus articulado 1995- 2019</b>	4	4	43290	213	40	1	40
<b>Carga</b>	1657	1525	1809775	7972	7313	54	2072
<b>Motocicletas</b>	5	5	99095	17698	529	32	15
<b>TOTAL</b>	2157	1982	8033200	193925	17326	762	15261

Fuente: RTV, 2018, 2019.

Las emisiones de tubo de escape se calcularon tomando en cuenta los factores de emisión propuestos por la Secretaria Distrital Del Ambiente Bogotá (Secretaria Distrital Del Ambiente Bogotá, 2019), (MEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 1.A.3.B.vi, 2019) y a su vez estudios realizados en Quito por Portilla (Portilla, 2010). De los resultados se puede observar que para el 2019 las cantidades más altas emitidas son de CO<sub>2</sub> y CO respectivamente.

A su vez al analizar la Tabla No 23 y la Tabla No 25, se observa que existe una gran emisión de contaminantes por las categorías que poseen más recorrido, como los buses y buses articulados aunque la cantidad de unidades es relativamente baja siendo de un 2,90 y un 0,12 % del total del parque automotor respectivamente , por otro lado y aunque a su vez al tener menos distancia recorrida promedio que las categorías ya mencionadas pero con un más alto número de vehículos, la categoría de carga con un 6,38% de unidades del parque automotor total es la que emite más toneladas de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>x</sub>, esto se debe ya que al observar la Tabla No 15 se observa que los factores de emisión por tubo de escape en estos contaminantes son más altos que las otras categorías.

**Tabla No 26** Emisión por evaporación.

	Emisión de VOC		
	EVAPORACIÓN DIURNA	APAGADO	PÉRDIDAS EN RECORRIDO
Emisiones evaporativas	t/año	t/año	t/año
<b>Automóvil</b>	33,91	91,05	272,95
<b>Taxi</b>	4,70	12,63	52,05
<b>Camionetas</b>	6,32	16,97	59,66
<b>Microbús</b>	0,36	0,96	4,86
<b>Busetas hasta 1995</b>	0,11	0,85	4,34
<b>Busetas 1995 - 2019</b>	2,16	5,79	28,85
<b>Buses hasta 1995</b>	0,02	0,17	1,04
<b>Buses desde 1995 - 2019</b>	1,64	4,40	42,56
<b>Bus articulado hasta 1995</b>	0,02	0,13	2,51
<b>Bus articulado 1995-2019</b>	0,06	0,16	1,26
<b>Carga</b>	3,62	9,72	51,65
<b>Motocicletas</b>	3,90	10,48	26,46
<b>TOTAL</b>	56,81	153,32	548,20

Fuente: RTV, 2018, 2019.

Las emisiones por evaporación del combustible en el vehículo son mayores cuando el vehículo está en recorrido. Esto se debe a que en el tiempo del recorrido aumenta la temperatura del automóvil generando así una mayor evaporación, a su vez le sigue la evaporación por motores apagados esto se debe a que la mayoría del tiempo los motores están apagados.

Las mayores emisiones en la Tabla No 26 se dan por la categoría de automóvil, esto se da debido a la existencia de una gran cantidad de vehículos, siendo del 59,76% del parque automotor total del DMQ para el 2019, según lo obtenido en la Tabla No 23.

**Tabla No 27** Emisión por abrasión (ruedas, frenos y superficie de la vía)

t/ año	PM10	PM2,5
<b>Automóvil</b>	145,35	78,47

<b>t/ año</b>	<b>PM10</b>	<b>PM2,5</b>
<b>Taxi</b>	27,72	14,97
<b>Camionetas</b>	31,77	17,15
<b>Microbús</b>	3,54	1,92
<b>Busetas hasta 1995</b>	0,59	0,32
<b>Busetas 1995 - 2019</b>	20,99	11,40
<b>Buses hasta 1995</b>	0,47	0,25
<b>Buses desde 1995 - 2019</b>	103,20	55,43
<b>Bus articulado hasta 1995</b>	1,13	0,61
<b>Bus articulado 1995- 2019</b>	3,05	1,64
<b>Carga</b>	125,25	67,27
<b>Motocicletas</b>	6,22	3,31
<b>TOTAL</b>	469,27	252,74

Fuente: RTV, 2018, 2019.

Los contaminantes para analizar en cuanto a la abrasión ya sea de llantas, frenos o de la vía, es el material particulado, en el cual podemos ver que la generación de PM<sub>10</sub> es casi el doble de la generación de PM<sub>2,5</sub>,

Al analizar la Tabla No 27 se obtiene que la categoría de automóviles representa la mayor emisión en el 2019 de material particulado para el DMQ, sin embargo esto se debe sobre todo a la cantidad de vehículos de esta categoría, los cuales representan el 59,76% del parque automotor, aunque se obtiene también que categorías con bajos porcentajes según la Tabla No 23, como son las categorías de carga y buses hasta 2019 tienen valores cercanos al de los automóviles, esto se debe al recorrido el cual es mucho mayor en estas categorías, al igual que los factores de emisión de las Tablas No19 y No 20 los cuales son mayores.

A continuación, la Tabla No 28 es la suma de las emisiones por tubo de escape, emisiones evaporativas y de las emisiones por abrasión, obteniendo a si el total de emisiones de cada contaminante, para cada categoría vehicular en todo el año 2019.

**Tabla No 28** Emisiones totales de fuentes móviles

	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	VOC
	t/año	t/año	t/año	t/año	t/año	t/año	t/año
<b>Automóvil</b>	313	232	2352028	107407	2016	423	7577
<b>Taxi</b>	60	44	448881	20483	385	81	509
<b>Camionetas</b>	63	45	674606	26670	3611	121	3498
<b>Microbús</b>	63	56	278077	822	689	3	223
<b>Busetas hasta 1995</b>	5	5	21934	328	254	1	36
<b>Busetas 1995 - 2019</b>	76	62	821730	4874	922	19	515
<b>Buses hasta 1995</b>	2	1	6223	78	61	0	9
<b>Buses desde 1995 - 2019</b>	239	181	1462482	7189	1360	28	1399
<b>Bus articulado hasta 1995</b>	4	3	15078	190	147	0	20
<b>Bus articulado 1995- 2019</b>	7	5	43290	213	40	1	41
<b>Carga</b>	1782	1592	1809775	7972	7313	54	2137
<b>Motocicletas</b>	12	8	99095	17698	529	32	55
<b>TOTAL</b>	2626	2235	8033200	193925	17326	762	16019

Fuente: RTV, 2018, 2019.

### 4.3. COMPARACIÓN DEL 2019 CON EL INVENTARIO DEL 2011

El análisis que a continuación se detalla está referido al Inventario y a los siguientes contaminantes: CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NH<sub>3</sub> y COV. Para la comparación únicamente se ha tomado en cuenta el inventario del DMQ, 2011.

**Tabla No 29** Comparación de emisiones 2011 y 2019 en t/año

	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	VOC
<b>2011</b>	1367	1040	3221384	97348	21563	1770	61704
<b>2019</b>	2626	2235	8033200	193925	17326	762	16019

Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

Se puede observar en la Tabla No 29 un crecimiento por sobre el 50% de concentración en la mayoría de los contaminantes a excepciones del SO<sub>2</sub> y COV.

Esto se da principalmente por el aumento del parque vehicular que se da desde el 2011 hasta el 2019 en la ciudad de Quito, el aumento de la actividad vehicular y aún más importante tiene que ver con el uso de distintos factores de emisión, ya que en el inventario del 2011 se usan factores de la ciudad de México mientras que en el presente inventario se usan factores de investigaciones de Quito, Bogotá y de la unión europea. Por otro lado, la disminución de SO<sub>2</sub> se encuentra ligada al mejoramiento del combustible en Ecuador en noviembre del 2011 se inició el proceso de mejora de combustibles el mismo que ayudará a reducir costos de mantenimiento de los vehículos y permitirá un mejor funcionamiento y rendimiento de los motores (EP Petroecuador, 2012). Las mejoras incluyen el aumento de la calidad de octanaje para la gasolina Extra de 81 a 87 octanos y la gasolina Súper, de 90 a 92 octanos, la cual duro de marzo 2011 a abril del 2012.

Además, la reducción del contenido de azufre, de 2000 a 650 (ppm), tanto en la gasolina Extra como en la gasolina Súper (EP Petroecuador, 2012). La mejora duro de marzo 2011 a abril del 2012

#### **4.4. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL MENSUAL**

En los siguientes gráficos se observa que la emisión mensual para todos los contaminantes es mayor para los meses centrales del año en especial con un valor más alto el mes de julio lo cual se puede observar con mayor facilidad en la Tabla No 30 la cual muestra la suma de los conteos semafóricos para cada mes dentro de la ciudad de Quito, mientras que los valores más bajos pertenecen al mes de octubre, esto se da debido al paro nacional que impidió la movilización en octubre del 2019 (El Comercio, 2019).

Se puede observar una irregularidad en la Tabla No 30, la cual es que los meses de julio y agosto donde se conoce que existe menos cantidad de vehículos en circulación por ser meses de vacaciones estudiantiles para la mayoría de los centros educativos, presentan los valores más altos de tráfico vehicular, sin embargo, bajo el análisis exhaustivo de los datos no se encontraron errores en el procesamiento de estos.

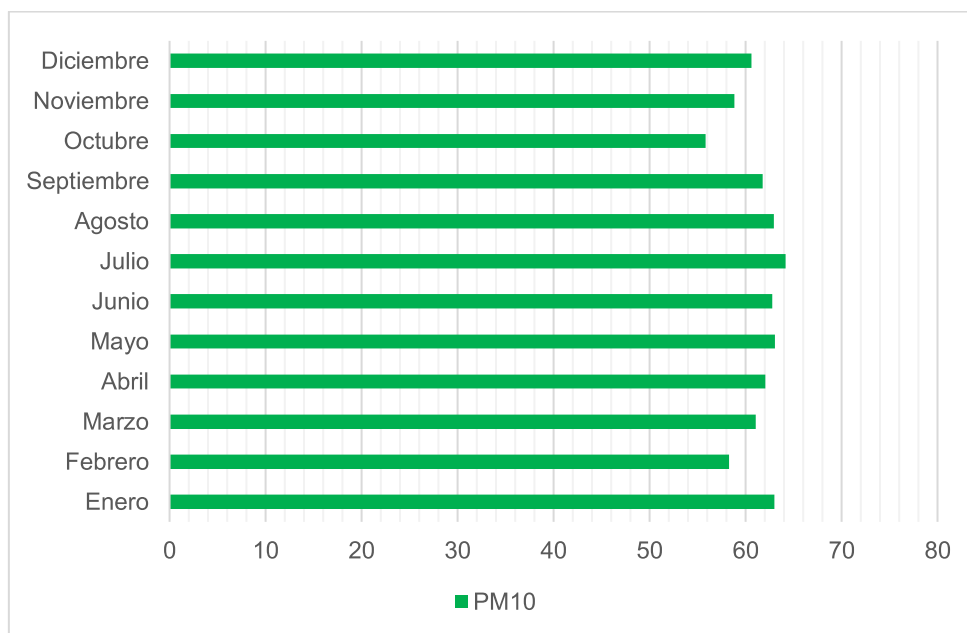
**Tabla No 30** Valor total de conteos vehiculares por semáforos inteligentes mensuales.

	Sur-norte	Oriente-occidente	Total
<b>enero</b>	183484831	61035160	244519991
<b>febrero</b>	168501409	56372407	224873816
<b>marzo</b>	176786646	58775936	235562582
<b>abril</b>	177529907	58974668	236504575
<b>mayo</b>	182472402	60956223	243428625
<b>junio</b>	179005017	60143154	239148171
<b>julio</b>	183497241	61791085	245288326
<b>agosto</b>	181442328	60506006	241948334
<b>septiembre</b>	177008993	60202049	237211042
<b>octubre</b>	158408103	55285386	213693489
<b>noviembre</b>	170324678	58405362	228730040
<b>diciembre</b>	174401894	61476698	235878592

Fuente: RTV, 2018, 2019.

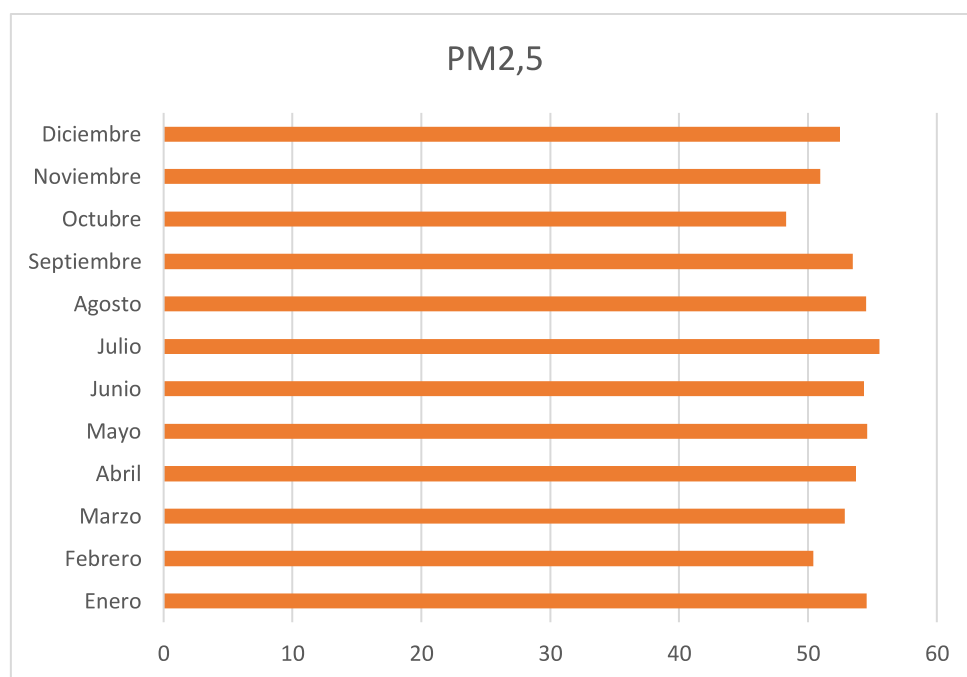
A continuación, en los Gráficos No 36, No 37, No 38, No 39, No 40 y No 41 se puede observar la cantidad de contaminante emitido en cada mes en toneladas para el año 2019. En todos los gráficos como se puede observar y debido a lo descrito en la Tabla No 29 se obtiene que el mes con mayor emisión es julio y el mes de menor emisión es octubre, lo cual sigue la tendencia del tráfico vehicular.

**Gráfico No 36** Distribución mensual de emisiones de PM<sub>10</sub> (t/mes) para el año 2019



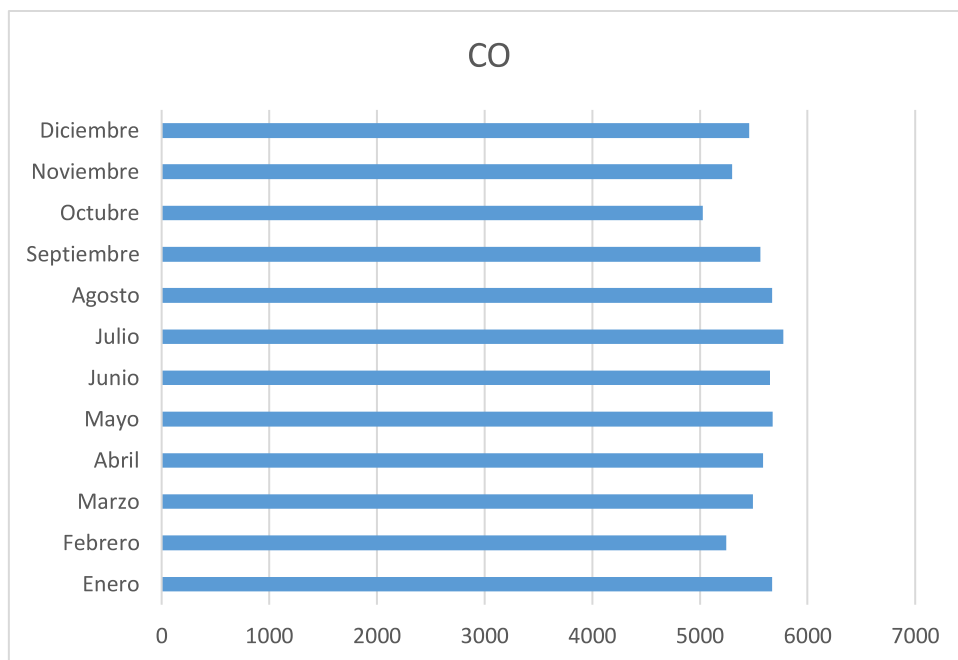
Fuente: RTV, 2018, 2019.

**Gráfico No 37** Distribución mensual de emisiones de PM<sub>2,5</sub> (t/mes) para el año 2019

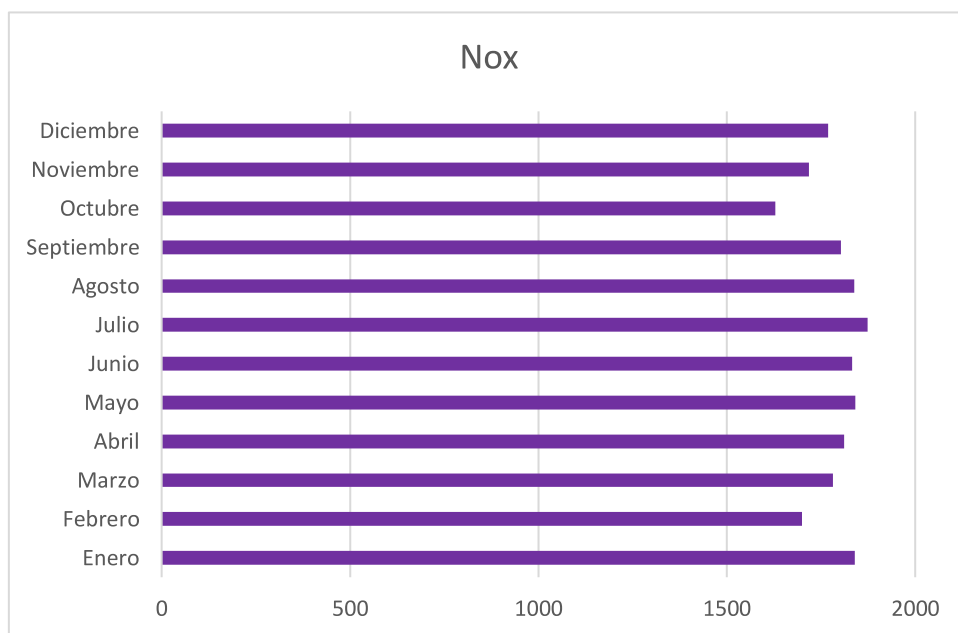


Fuente: RTV, 2018, 2019.



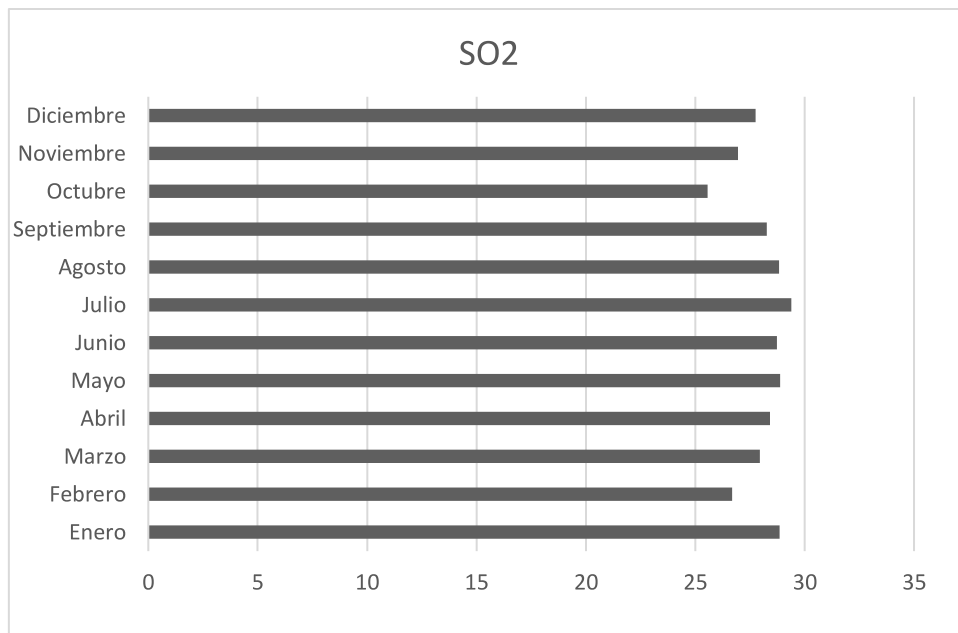
**Gráfico No 38** Distribución mensual de emisiones de CO (t/mes) para el año 2019.

Fuente: RTV, 2018, 2019.

**Gráfico No 39** Distribución mensual de emisiones de NO<sub>x</sub> (t/mes) para el año 2019.

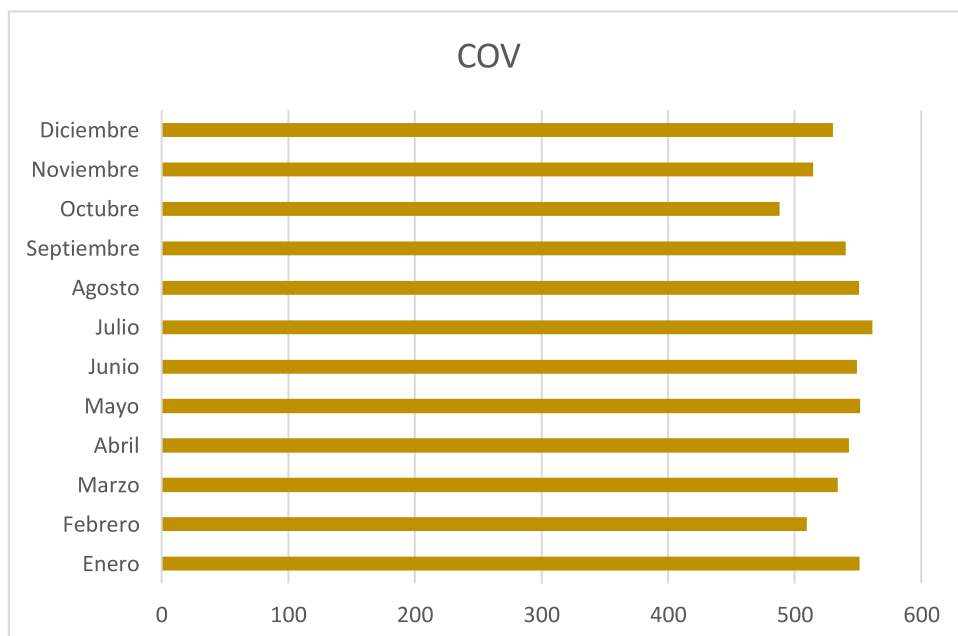
Fuente: RTV, 2018, 2019.

**Gráfico No 40** Distribución mensual de emisiones de SO<sub>2</sub> (t/mes) para el año 2019.



Fuente: RTV, 2018, 2019.

**Gráfico No 41** Distribución mensual de emisiones de COV (t/mes) para el año 2019



Fuente: RTV, 2018, 2019.

## 4.5. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL HORARIA

### 4.5.1. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL HORARIA DÍA LABORAL PROMEDIO

Para la distribución horaria se toma en cuenta la cantidad de vehículos en un día laborable promedio del 2019, y se suman el total de emisiones generadas por vehículos en cada hora para todo el DMQ, cubriendo así las veinticuatro horas del día. Se deja como ejemplo la Tabla No 31 que muestra la cantidad de vehículos promedio que circulan en cada hora.

Se puede analizar que los perfiles de emisiones horarios, de las seis de la mañana hasta las nueve de la mañana y a partir de las cuatro de la tarde hasta las siete de la noche son los que tienen mayor intensidad de tráfico, debido a ser las horas pico de circulación vehicular en el DMQ, sin embargo, la variación se mantiene relativamente similares desde las nueve de la mañana hasta las siete de la tarde, esto se da debido a las restricciones vehiculares existentes en la mayoría del 2019 en el DMQ (pico y placa), por lo que se estandarizan los perfiles vehiculares en las horas del día. (Coyago, Ortega & Pinargote, 2017)

**Tabla No 31** Cantidad de vehículos en el DMQ por hora para un día laborable.

Horas	Número de vehículos
0	90598
1	53339
2	41006
3	49587
4	97000
5	291225
6	899570
7	1155740
8	1188029
9	1162728
10	1142601
11	1130120
12	1131780
13	1156040
14	1115330
15	1180520

Horas	Número de vehículos
16	1207825
17	1182243
18	1165064
19	1028968
20	826478
21	617577
22	377843
23	199389

Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

**Tabla No 32** Emisiones horarias en t/h de todos los contaminantes para un día laborable.

Horas	PM10	PM2,5	COV	CO2	CO	NOx	SO2
0	0,01	0,01	102547,43	43,84	1,06	0,34	0,01
1	0,01	0,01	60374,15	25,81	0,62	0,2	0,01
2	0,01	0,01	46414,49	19,84	0,48	0,15	0,01
3	0,01	0,01	56127,28	24	0,58	0,19	0,01
4	0,01	0,01	109793,82	46,94	1,13	0,37	0,01
5	0,04	0,03	329636,14	140,93	3,39	1,1	0,02
6	0,12	0,1	1018218,85	435,31	10,48	3,4	0,05

Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

**Tabla No 32** Emisiones horarias en t/h de todos los contaminantes para un día laborable. (continuación...)

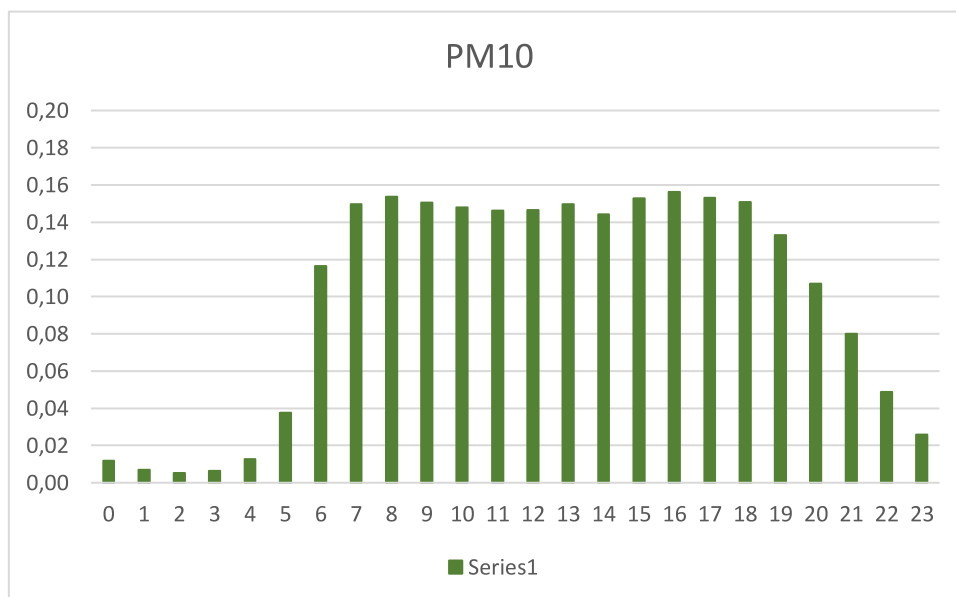
Horas	PM10	PM2,5	COV	CO2	CO	NOx	SO2
7	0,15	0,13	1308176,41	559,27	13,46	4,36	0,07
8	0,15	0,13	1344724,17	574,9	13,84	4,49	0,07
9	0,15	0,13	1316086,09	562,66	13,54	4,39	0,07
10	0,15	0,13	1293304,44	552,92	13,31	4,31	0,07
11	0,15	0,13	1279177,26	546,88	13,16	4,27	0,07
12	0,15	0,13	1281056,2	547,68	13,18	4,27	0,07
13	0,15	0,13	1308515,98	559,42	13,47	4,37	0,07
14	0,14	0,12	1262436,53	539,72	12,99	4,21	0,07
15	0,15	0,13	1336224,77	571,27	13,75	4,46	0,07
16	0,16	0,14	1367131,16	584,48	14,07	4,56	0,07

Horas	PM10	PM2,5	COV	CO2	CO	NOx	SO2
17	0,15	0,13	1338175,02	572,1	13,77	4,46	0,07
18	0,15	0,13	1318730,2	563,79	13,57	4,4	0,07
19	0,13	0,12	1164683,81	497,93	11,99	3,89	0,06
20	0,11	0,09	935486,37	399,94	9,63	3,12	0,05
21	0,08	0,07	699032,36	298,85	7,19	2,33	0,04
22	0,05	0,04	427678,63	182,84	4,4	1,43	0,02
23	0,03	0,02	225687,43	96,49	2,32	0,75	0,01

Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

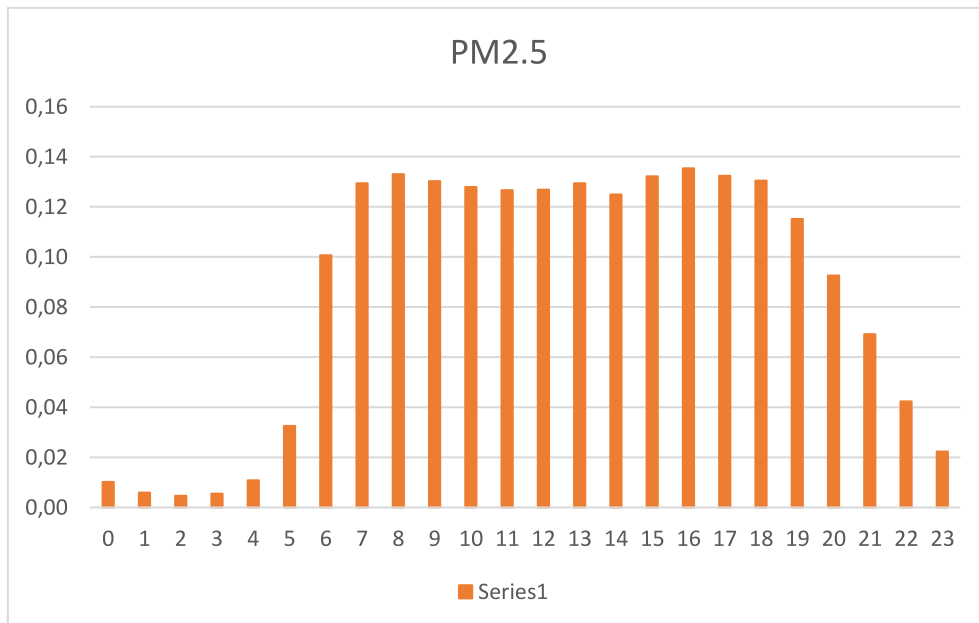
A continuación, en los Gráficos No 42, No 43, No 44, No 45, No 46 y No 47, se observa la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera expresado en toneladas para cada hora de un día laborable promedio del 2019 y a su vez se pueden evidenciar los puntos de mayor y menor emisión de contaminante, teniendo así los puntos críticos de mayor emisión en las horas pico y los puntos de menor emisión en horas de la noche y madrugada, lo cual sigue la tendencia de tráfico vehicular obtenido por los semáforos inteligentes ubicados en el DMQ, por lo cual se obtienen gráficos con la misma tendencia pero con distintas cantidades de emisión.

**Gráfico No 42** Distribución horaria de emisiones de PM10 (t/h) para día laborable para el año 2019.



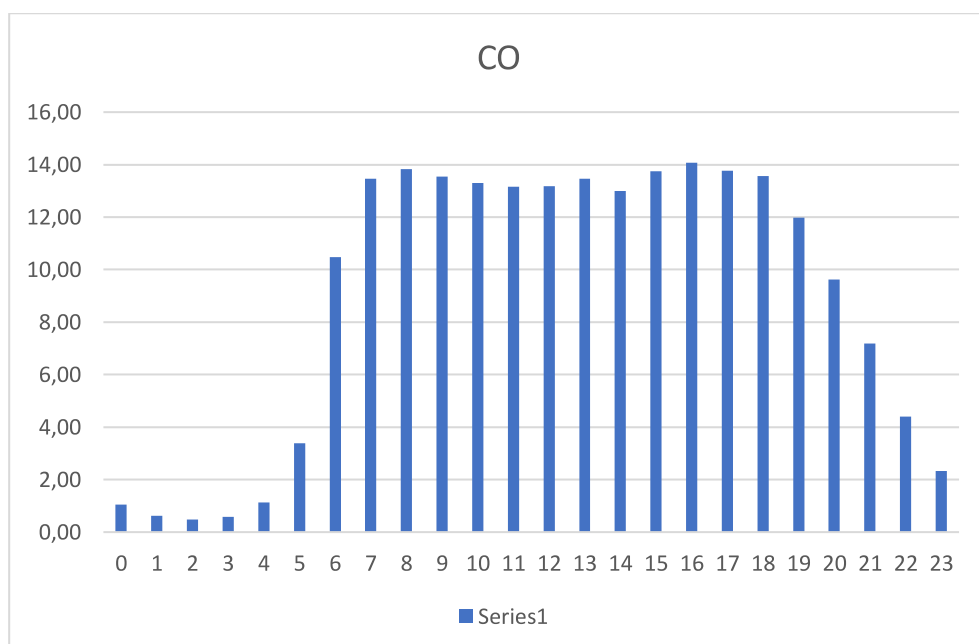
Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

**Gráfico No 43** Distribución horaria de emisiones de PM<sub>2,5</sub> (t/h) para día laborable para el año 2019



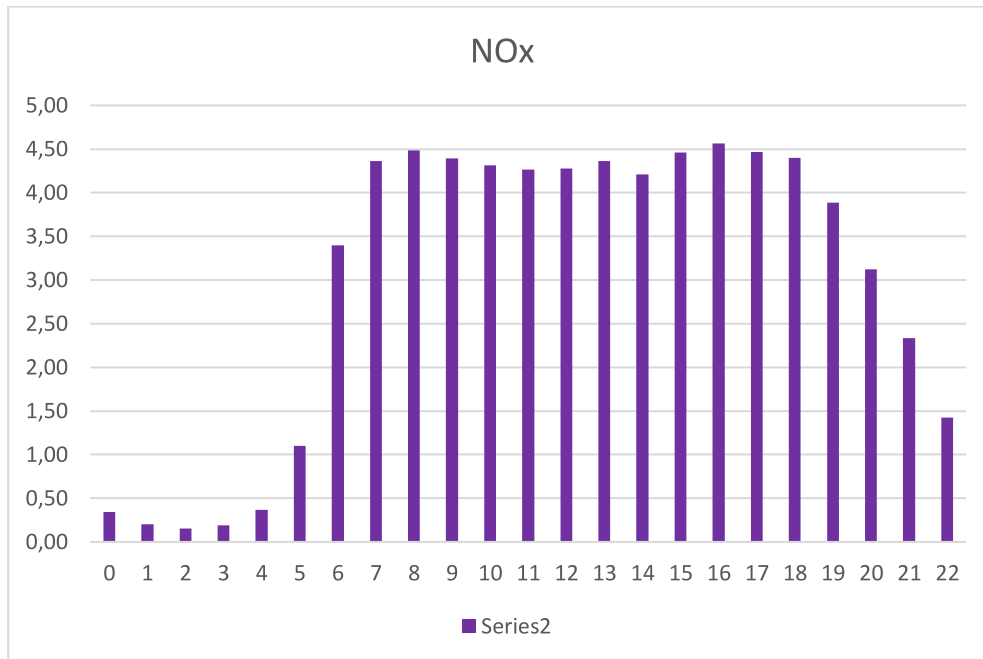
Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

**Gráfico No 44** Distribución horaria de emisiones de CO (t/h) para día laborable para el año 2019.



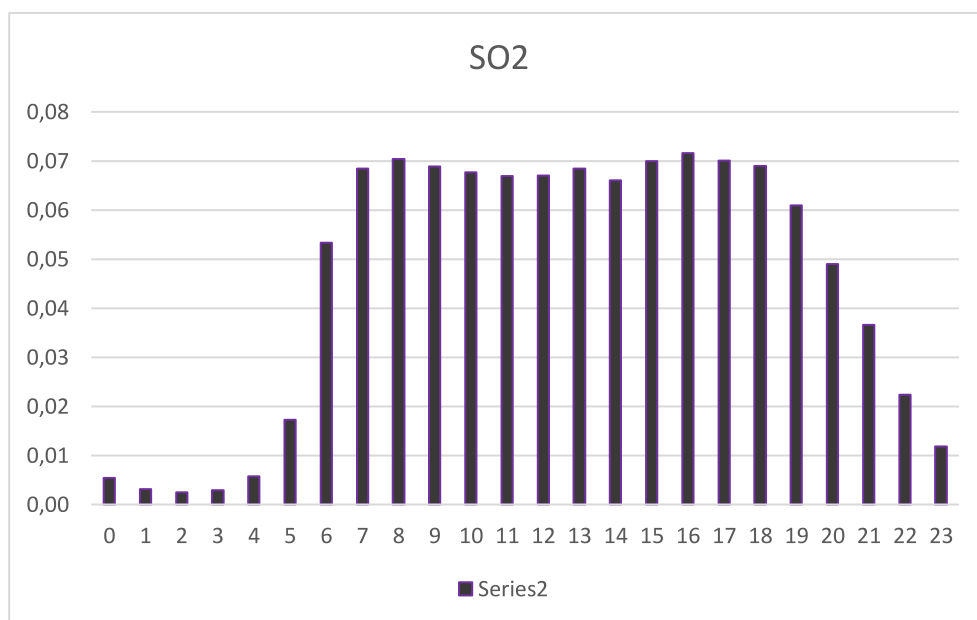
Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

**Gráfico No 45** Distribución horaria de emisiones de NO<sub>x</sub> (t/h) para día laborable para el año 2019.



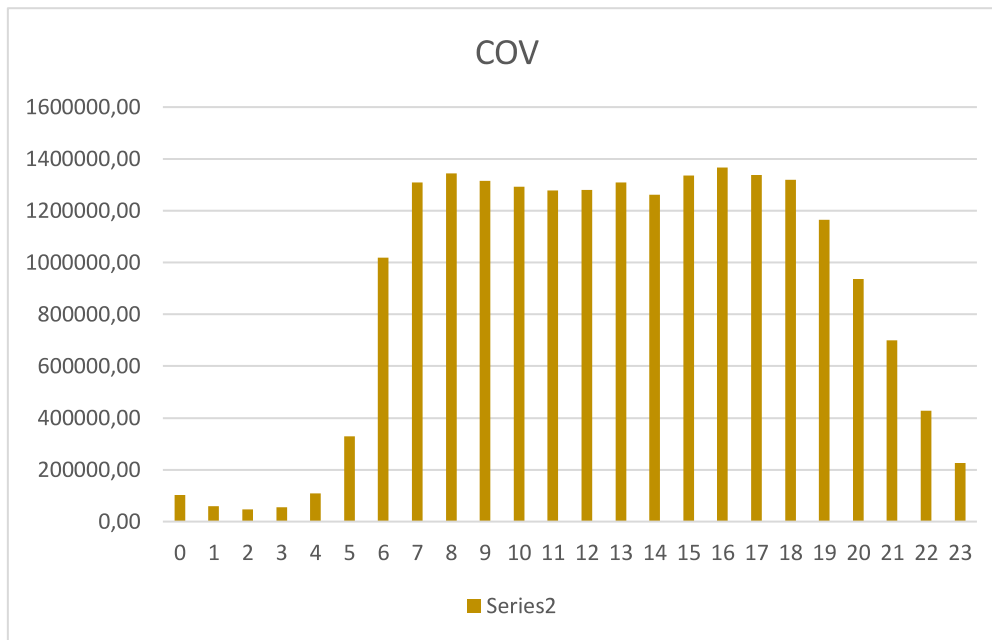
Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

**Gráfico No 46** Distribución horaria de emisiones de SO<sub>2</sub> (t/h) para día laborable para el año 2019.



Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

**Gráfico No 47** Distribución horaria de emisiones de COV (t/h) para día laborable para el año 2019.



Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

#### 4.6.2. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL HORARIO DÍA PROMEDIO DE FIN DE SEMANA.

Para la distribución horaria se toma en cuenta la cantidad de vehículos en un día de fin de semana promedio del 2019, y se suman el total de emisiones vehiculares que se producen en cada hora en todo el DMQ, cubriendo así las 24 horas del día. Se deja como ejemplo la Tabla No 32 que muestra la cantidad de vehículos promedio que circulan en cada hora.

Se puede analizar que los perfiles horarios de emisiones se mantienen relativamente similares desde las 9 horas hasta las 16 horas, esto se da debido a que no existen restricciones vehiculares para los fines de semana en el DMQ generando una libre circulación.



**Tabla No 33** Distribución horaria de emisiones de PM<sub>2,5</sub> (t/h) para día laborable para el año 2019

<b>Horas</b>	<b>Número de vehículos</b>
0	344586
1	260458
2	231538
3	184807
4	155253
5	224720
6	483617
7	780642
8	952990
9	1022220
10	1061840
11	1133352
12	1161694
13	1169767
14	1054018
15	1021612
16	1009945
17	992661
18	966153
19	927696
20	807752
21	667882
22	516043
23	381284

Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

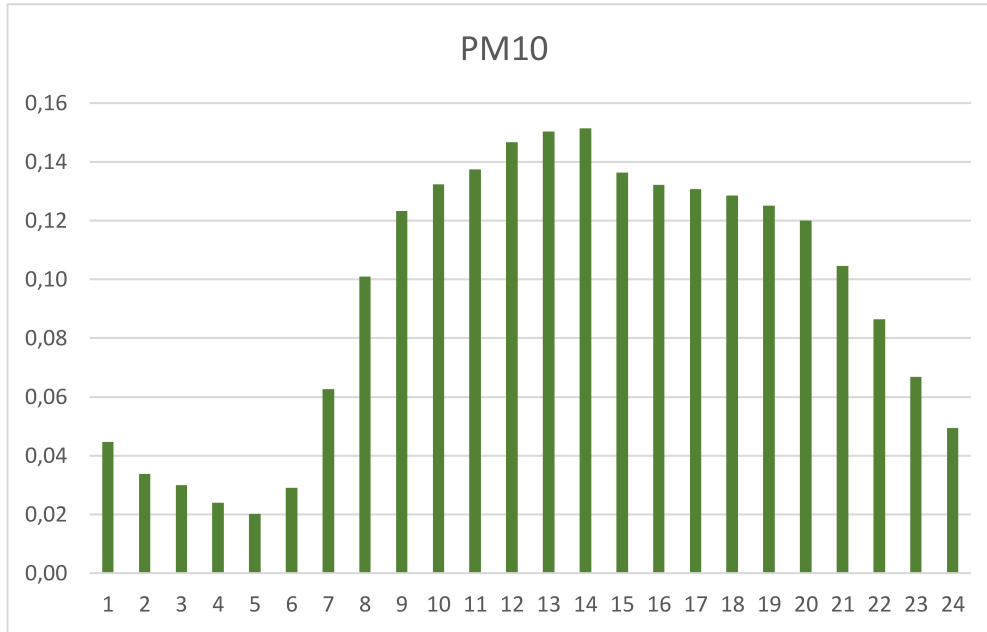
**Tabla No 34** Emisiones horarias en t/h de todos los contaminantes para un día de fin de semana.

Horas	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	COV	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
0	0,04	0,04	390035,19	166,75	4,01	1,30	0,02
1	0,03	0,03	294811,13	126,04	3,03	0,98	0,02
2	0,03	0,03	262076,72	112,04	2,70	0,87	0,01
3	0,02	0,02	209182,13	89,43	2,15	0,70	0,01
4	0,02	0,02	175730,11	75,13	1,81	0,59	0,01
5	0,03	0,03	254359,46	108,74	2,62	0,85	0,01
6	0,06	0,05	547403,70	234,03	5,63	1,83	0,03
7	0,10	0,09	883604,83	377,76	9,09	2,95	0,05
8	0,12	0,11	1078684,68	461,16	11,10	3,60	0,06
9	0,13	0,11	1157045,78	494,66	11,91	3,86	0,06
10	0,14	0,12	1201891,46	513,84	12,37	4,01	0,06
11	0,15	0,13	1282835,54	548,44	13,20	4,28	0,07
12	0,15	0,13	1314915,71	562,16	13,53	4,39	0,07
13	0,15	0,13	1324053,50	566,06	13,63	4,42	0,07
14	0,14	0,12	1193037,78	510,05	12,28	3,98	0,06
15	0,13	0,11	1156357,59	494,37	11,90	3,86	0,06
16	0,13	0,11	1143151,77	488,72	11,76	3,81	0,06
17	0,13	0,11	1123588,09	480,36	11,56	3,75	0,06
18	0,13	0,11	1093583,82	467,53	11,25	3,65	0,06
19	0,12	0,10	1050054,53	448,92	10,81	3,50	0,05
20	0,10	0,09	914290,51	390,88	9,41	3,05	0,05
21	0,09	0,07	755972,34	323,19	7,78	2,52	0,04
22	0,07	0,06	584106,53	249,72	6,01	1,95	0,03
23	0,05	0,04	431573,48	184,51	4,44	1,44	0,02

Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

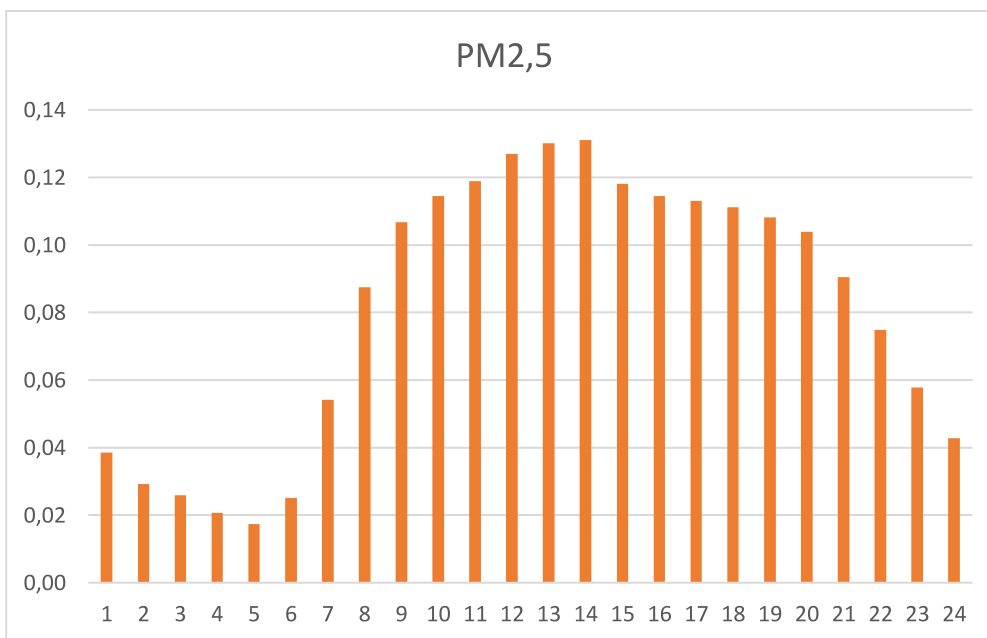
A continuación, en los Gráficos No 48, 49, 50, 51, 52 y 53, se observa la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera expresado en toneladas para cada hora de un día de fin de semana promedio del 2019, donde se puede evidenciar que hay una tendencia de mayor generación de contaminante en las horas cercanas al medio día, también se observa una disminución progresiva de la generación de contaminantes a medida que nos alejamos del medio día.

**Gráfico No 48** Distribución horaria de emisiones de PM10 (t/h) para un día de fin de semana para el año 2019



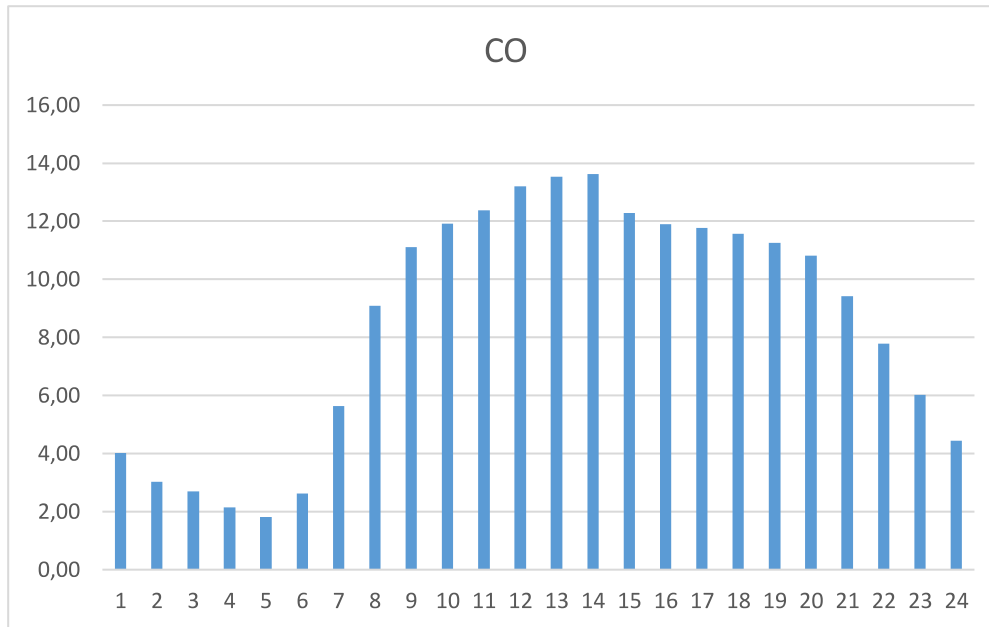
Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

**Gráfico No 49** Distribución horaria de emisiones de PM2,5 (t/h) para un día de fin de semana para el año 2019



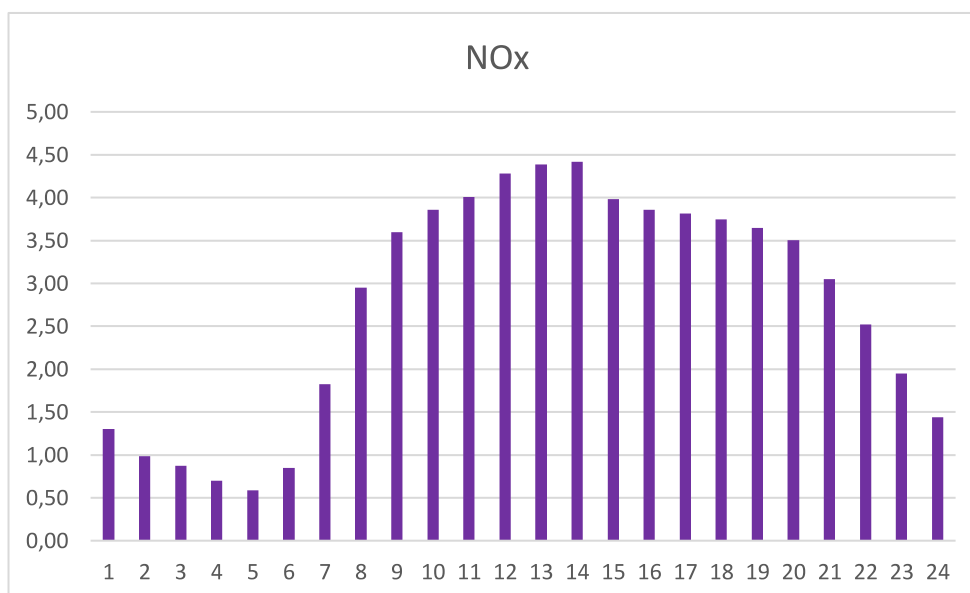
Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

**Gráfico No 50** Distribución horaria de emisiones de CO (t/h) para un día de fin de semana para el año 2019.



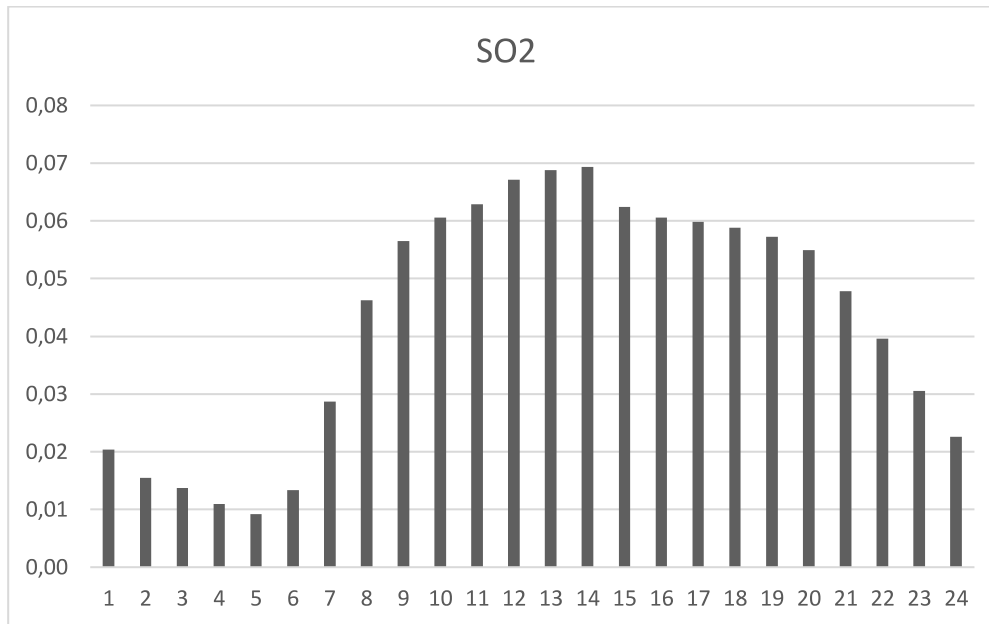
Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

**Gráfico No 51** Distribución horaria de emisiones de NOx (t/h) para un día de fin de semana para el año 2019.



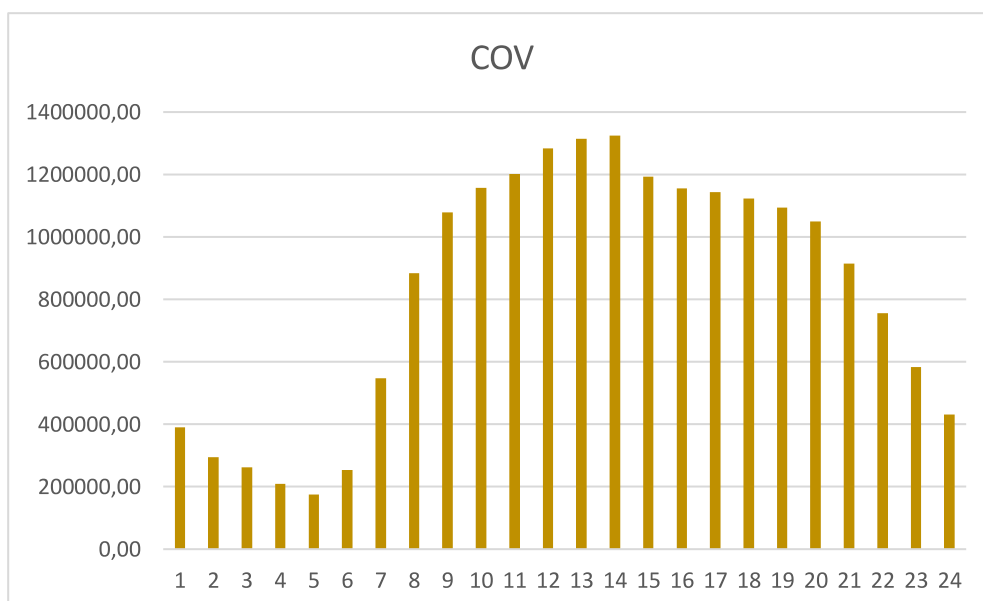
Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

**Gráfico No 52** Distribución horaria de emisiones de SO<sub>2</sub> (t/h) para un día de fin de semana para el año 2019.



Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

**Gráfico No 53** Distribución horaria de emisiones de COV (t/h) para un día de fin de semana para el año 2019.



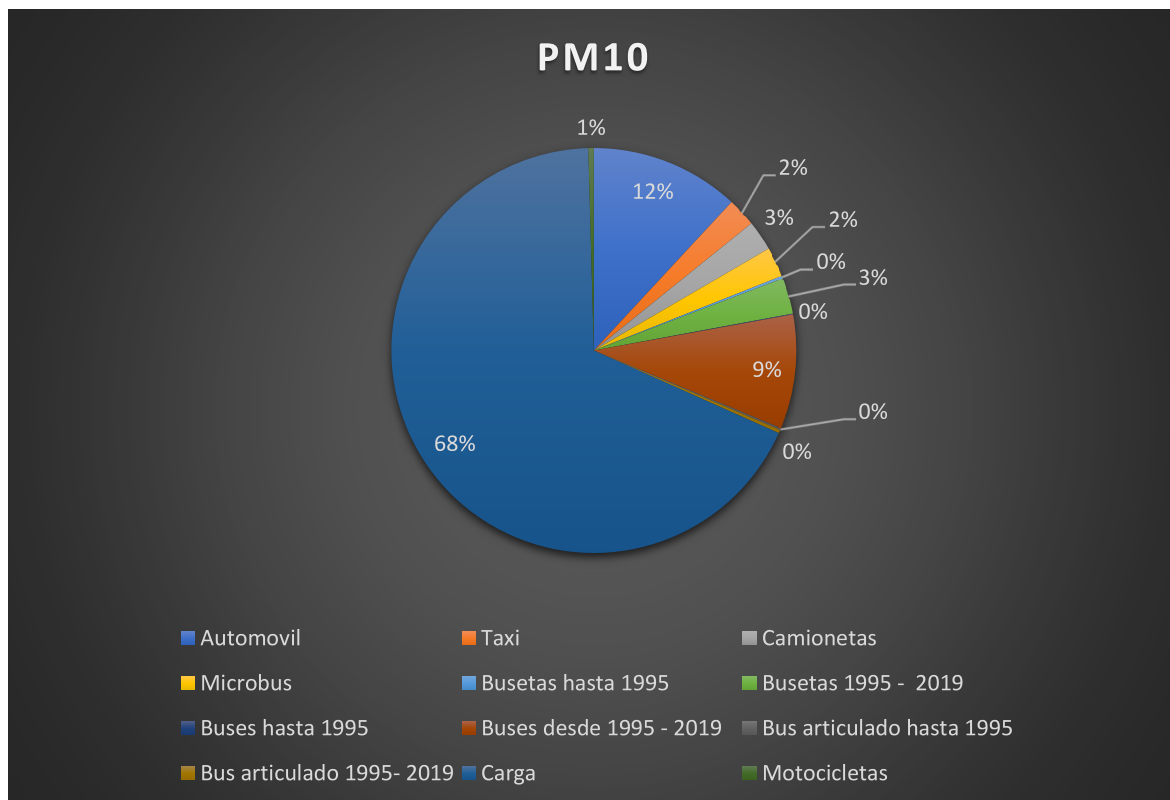
Fuente: Secretaria Del Ambiente, 2014

#### 4.7. EMISIÓN POR CATEGORÍA DE VEHÍCULO

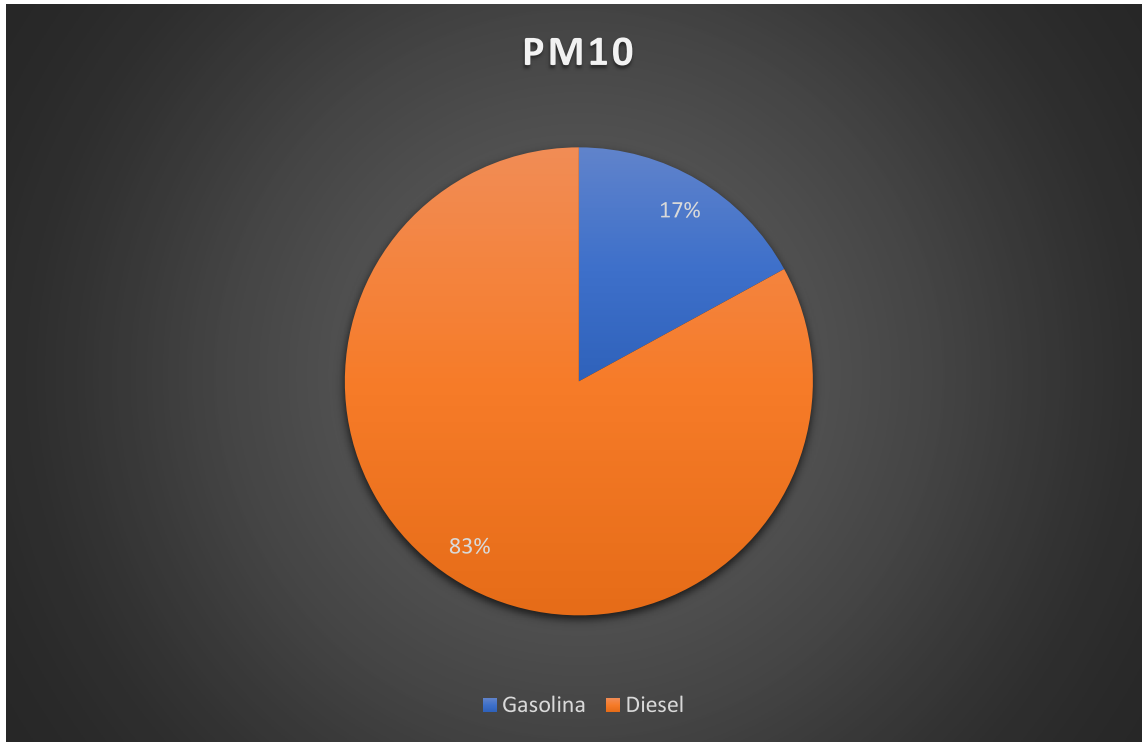
La categoría de motocicletas es la que genera la menor contaminación de  $PM_{10}$  con un total del 1%, mientras que los vehículos de carga son los que emiten la mayor cantidad de material particulado de 10 micras, con un valor de 68%. Lo mismo pasa con el  $PM_{2,5}$  donde las motos presentan un valor bajo el 1%, mientras que los vehículos de carga presentan un 71%.

Cabe mencionar que las categorías que usan diésel como combustible se caracterizan por liberar nano partículas que no son quemadas en la combustión, por lo que la categoría de carga y buses son de gran relevancia en la emisión de  $PM_{10}$  (Cárdenas & Armas, 2016), lo cual va de acuerdo también con los Gráficos No 55 y No 57 que los vehículos que emiten la mayor cantidad de material particulado son los impulsados por diésel.

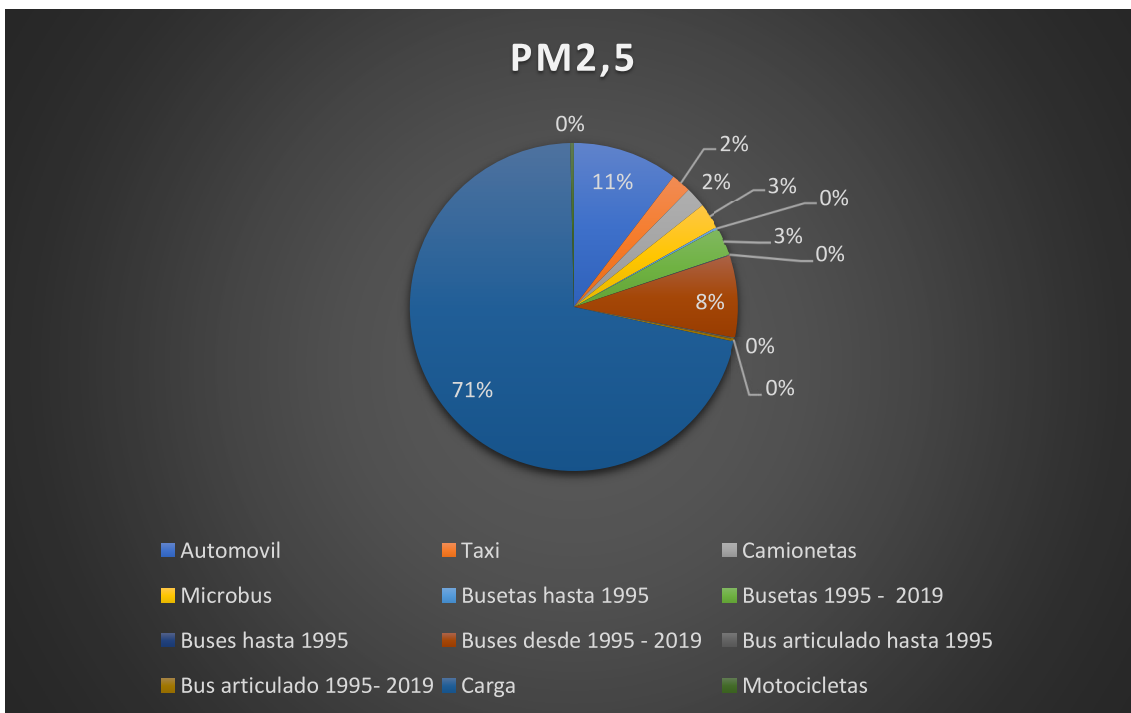
**Gráfico No 54** Emisión de  $PM_{10}$  por categoría vehicular para el año 2019

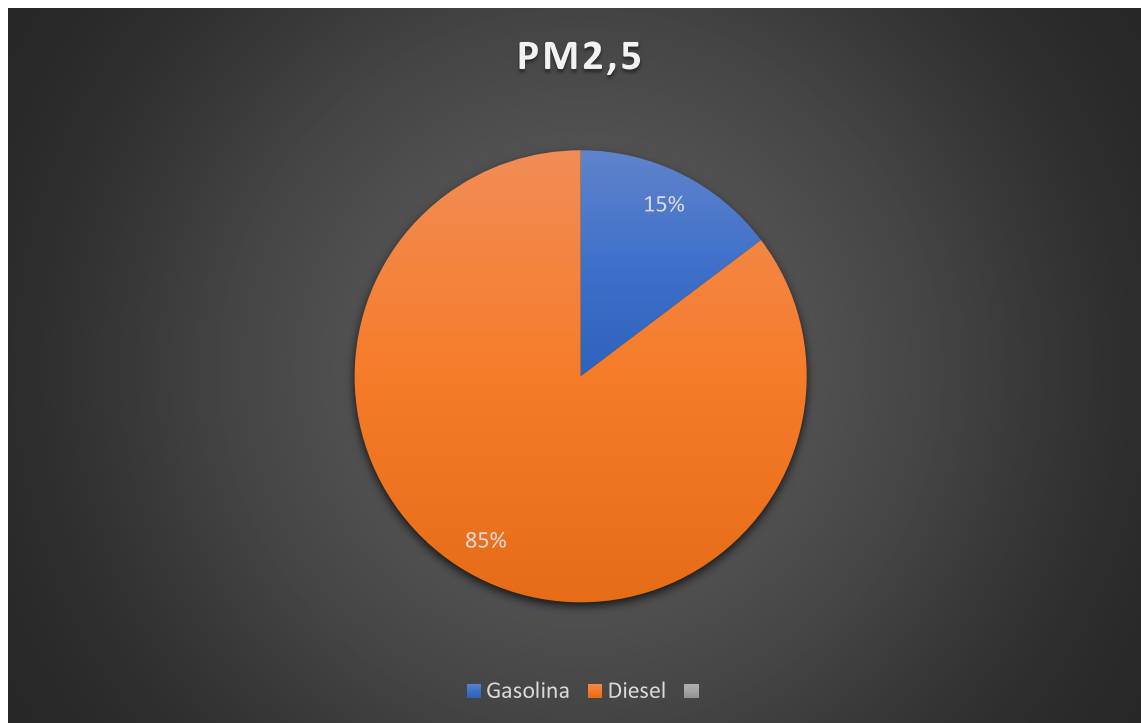


**Gráfico N° 55** Emisión de PM<sub>10</sub> por tipo de combustible para el año 2019



**Gráfico N° 56** Emisión de PM<sub>2,5</sub> por categoría vehicular para el año 2019



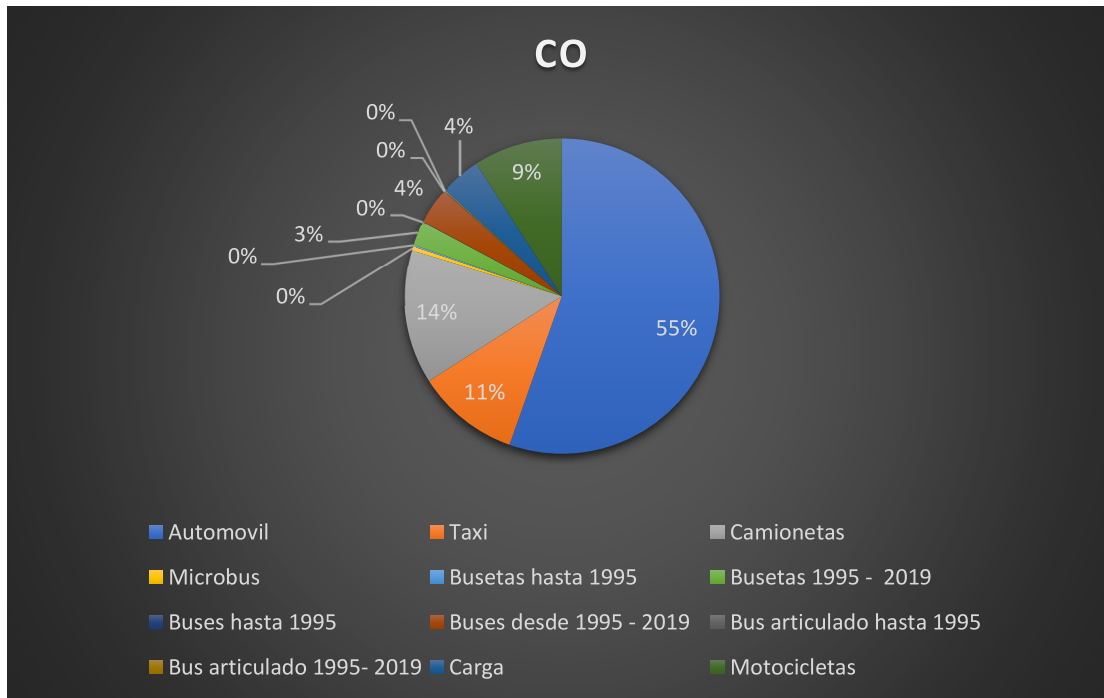
**Gráfico N° 57** Emisión de PM<sub>2,5</sub> por tipo de combustible para el año 2019

La composición de CO (monóxido de carbono) se caracteriza porque en su mayoría la generación de este contaminante se presenta por la categoría de los automóviles con un 55%, cabe recalcar que es seguido por camionetas, taxis y motocicletas, que se los analiza como vehículos a gasolina, mientras que los vehículos a diésel presentan los más bajos porcentajes, siendo los menores los buses y busetas hasta 1995.

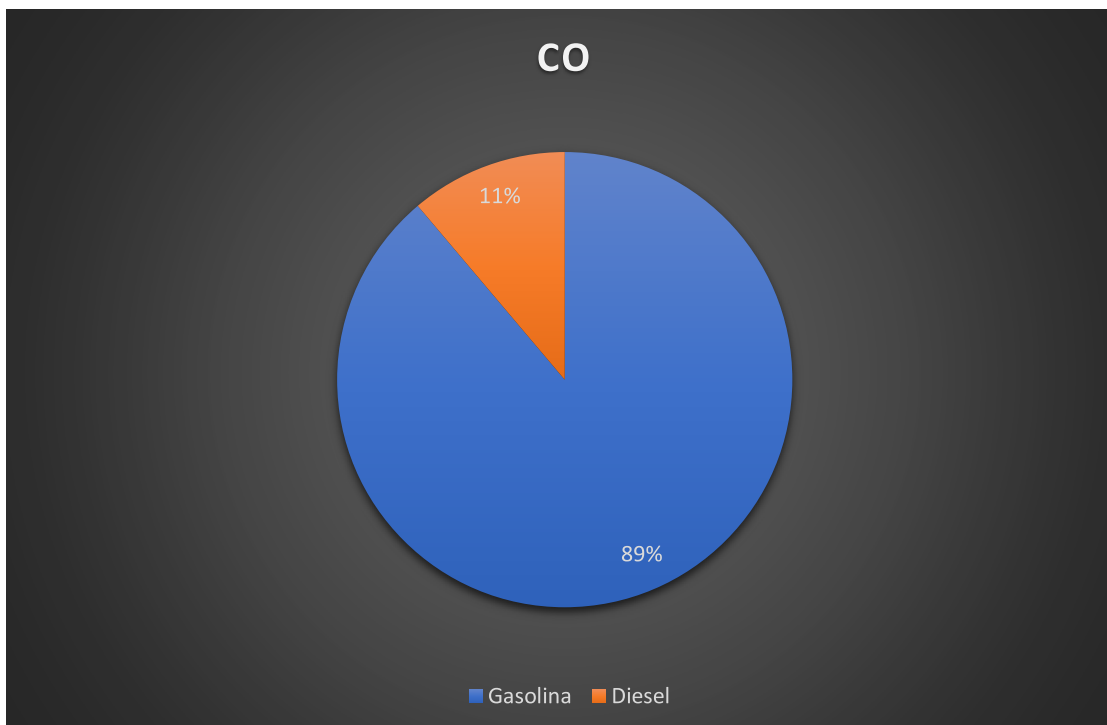
En el Gráfico No 59 se observa que los vehículos a gasolina son los principales generadores de CO en el DMQ esto se debe a que en la gasolina predomina en su total de hidrocarburo metilbencenos que son precursores eficaces de la generación de CO (Platt, El Haddad & Pieber, 2017)



**Gráfico No 58** Emisión de CO por categoría vehicular para el año 2019.



**Gráfico N° 58** Emisión de CO por tipo de combustible para el año 2019

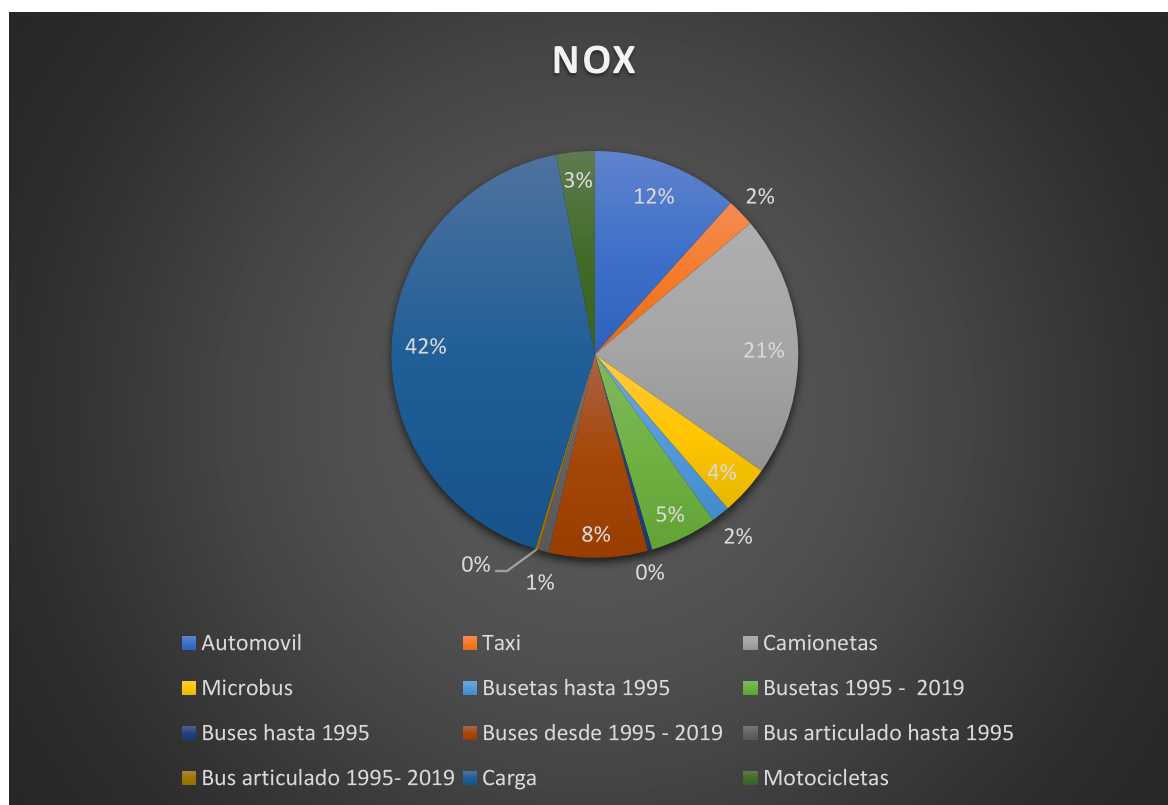


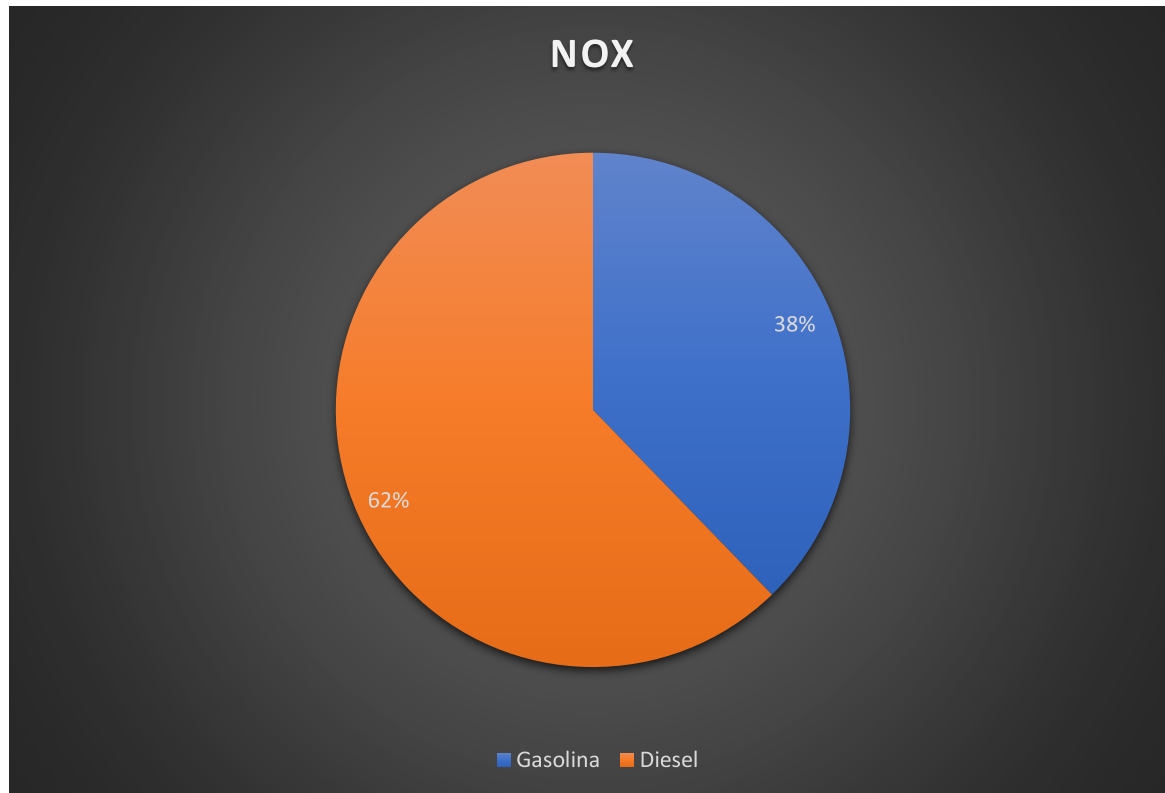
Con un 42% la categoría de vehículos de carga es la que genera una mayor cantidad de NOx (óxidos de nitrógeno), por otro lado, las motocicletas, los taxis y

las busetas hasta 1995 generan un 1% del total de NO<sub>x</sub> generado, mientras que los buses y buses articulados hasta 1995 generan menos del 1% que las demás categorías.

Los vehículos a diésel son los principales precursores en la emisión de NO<sub>x</sub> según el Grafico No 61 con un 62 % del total generado en el 2019, lo que va de acuerdo con Platt, El Haddad & Pieber (2017) donde afirman que las emisiones de NO<sub>x</sub> en vehículos a diésel son mayores a las de vehículos a gasolina.

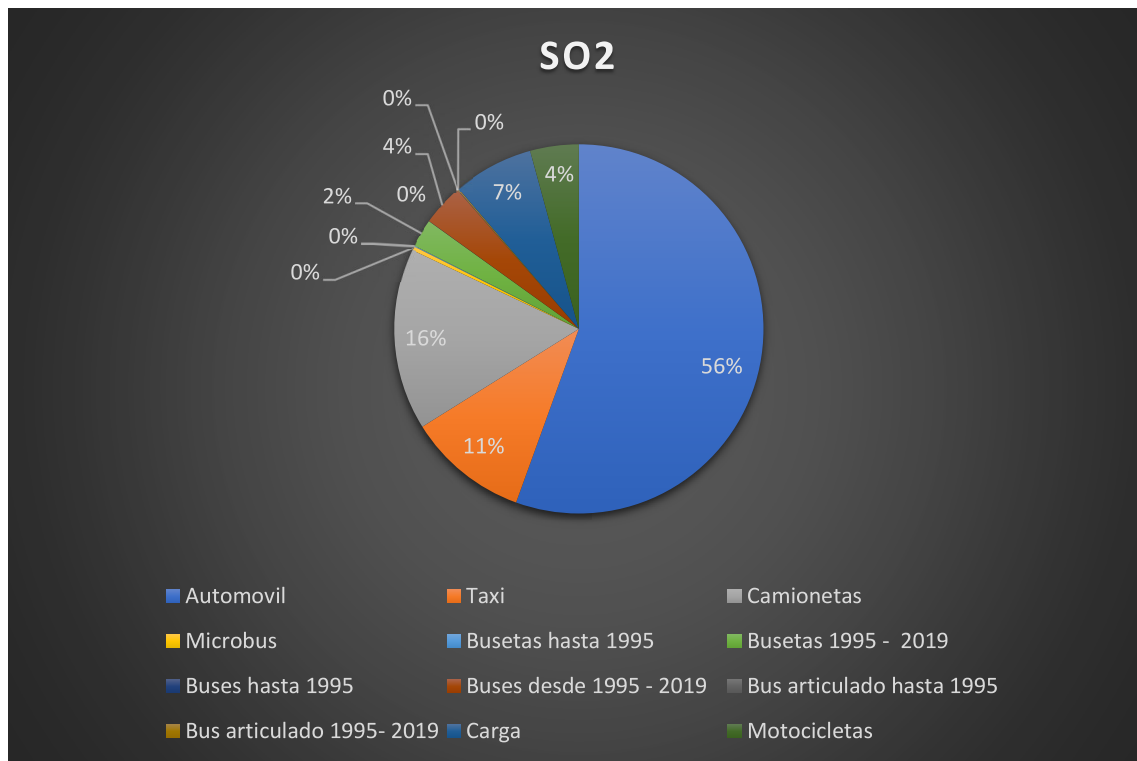
**Gráfico N° 59** Emisión de NO<sub>x</sub> por categoría vehicular para el año 2019.



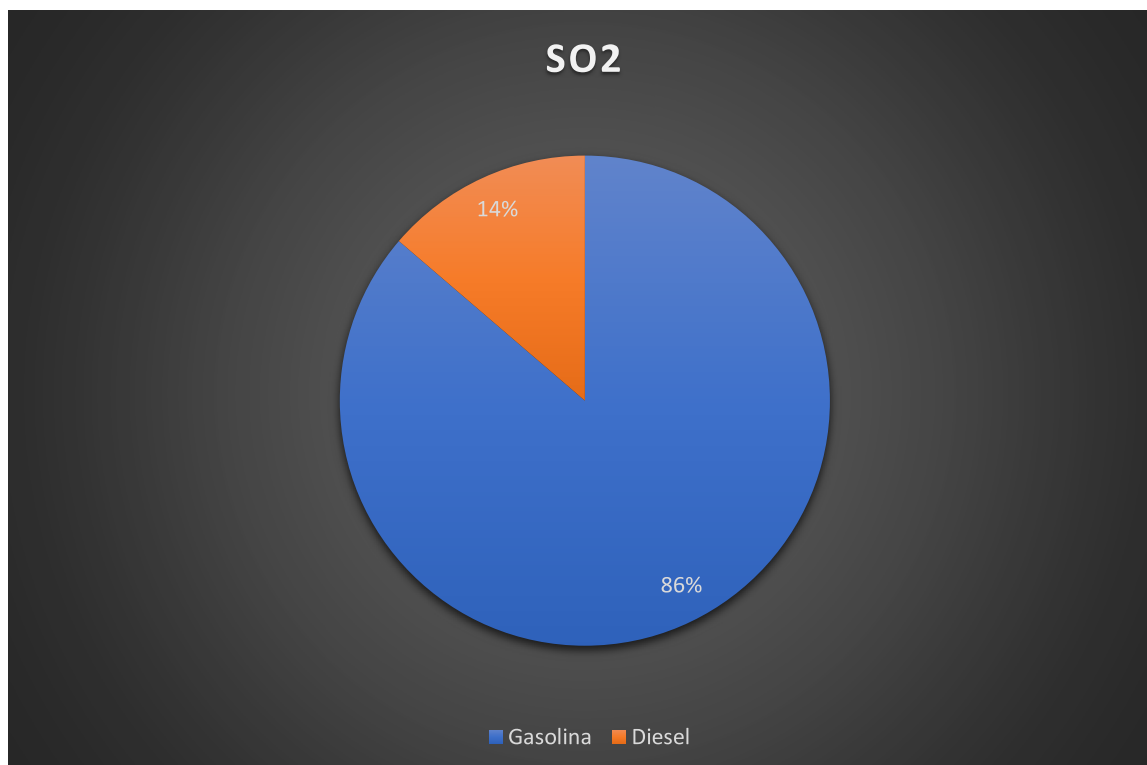
**Gráfico N° 60** Emisión de NO<sub>x</sub> por tipo de combustible para el año 2019

Para el caso del SO<sub>2</sub> y al observar los Gráficos No 62 y No 63, su emisión depende en su mayoría de la calidad de los combustibles, obteniendo así una emisión mayor proveniente de los vehículos a gasolina con un 86%, los automóviles presentan un 52%, mientras que las busetas y los buses hasta 1995 producen menos del 1%, esto se debe a que el contenido de azufre en la gasolina es mayor que en el diésel en el país siendo de 0,065 y 0,05 % respectivamente (INEN 935, 2016) (INEN 1489, 2011).

**Gráfico N° 61** Emisión de SO<sub>2</sub> por categoría vehicular para el año 2019.



**Gráfico N° 62** Emisión de SO<sub>2</sub> por tipo de combustible para el año 2019.

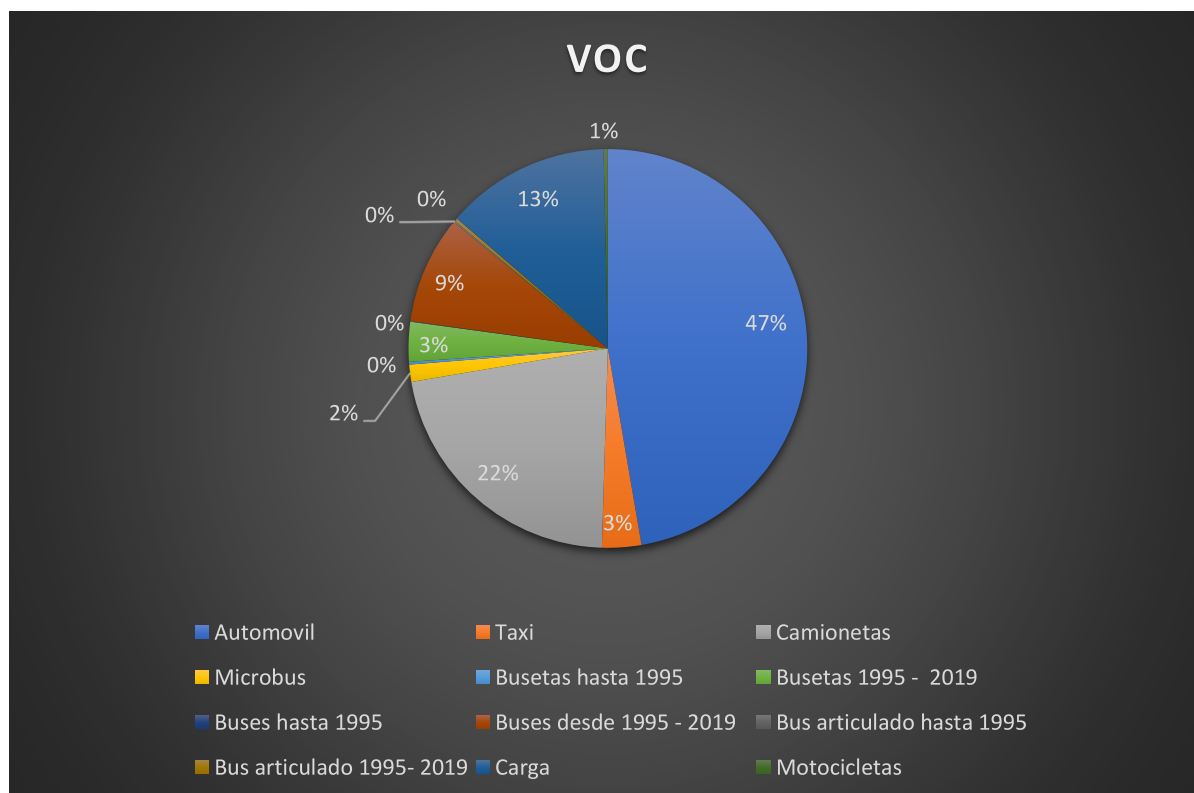


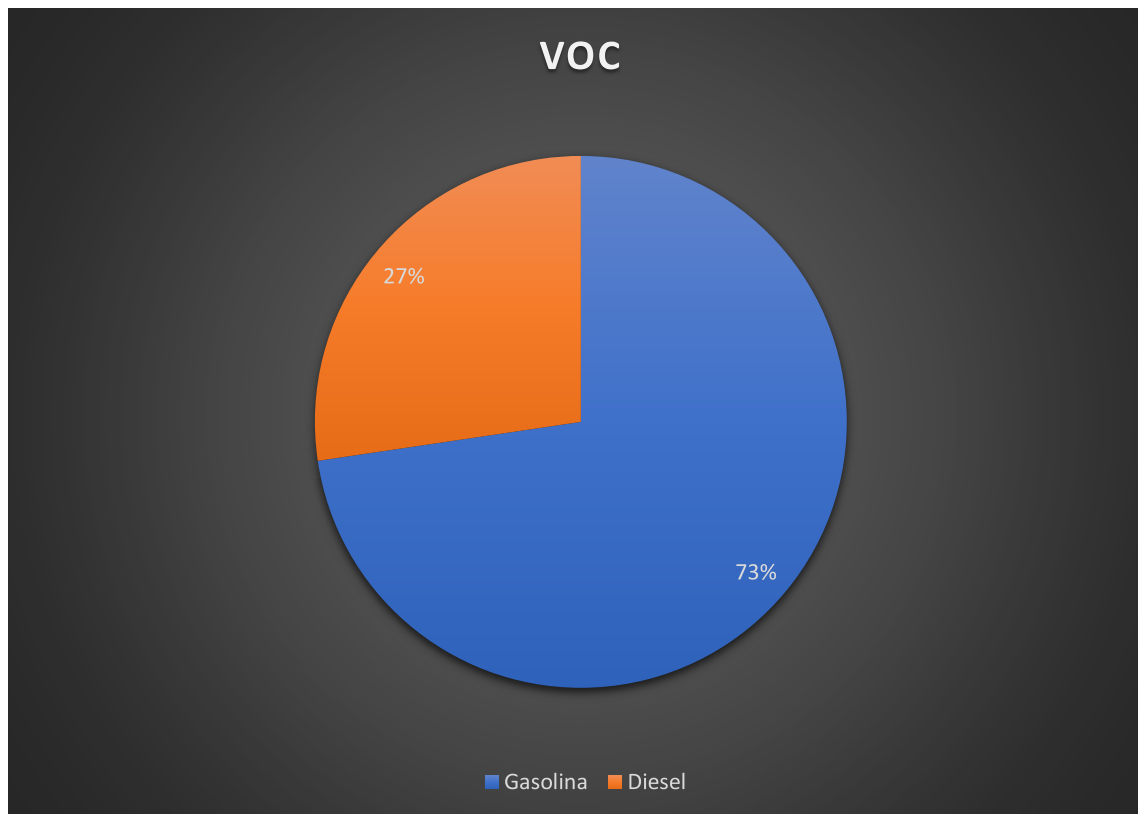
Los COV por su parte se relacionan más a la cantidad de vehículos, por lo que los automóviles en el Grafico No 64 presentan una mayor emisión con un 47% del total de emisiones en el año, mientras que las motocicletas, los buses y busetas hasta 1995 generan menos del 1%.

Ya que según el grafico No 65 la mayoría de los vehículos son a gasolina predomina la emisión en vehículos que usan este combustible con un 73 % por sobre la emisión de vehículos a diésel.

Es importante mencionar que la gasolina posee una mayor cantidad de compuestos que el diésel en la generación de VOC's, sin embargo, el diésel puede contener en muy baja concentración de etilbenceno y xilenos (Múgica, Vega, Sánchez, Reyes, Arriaga, Chow, Watson & Egami, 2001)

**Gráfico N° 63** Emisión de COV por categoría vehicular para el año 2019.



**Gráfico N° 64** Emisión de COV por tipo de combustible para el año 2019

#### 4.8. MAPEO DE LA EMISIÓN VEHICULAR

La ciudad de Quito posee una distribución espacial determinada por una mayor cantidad de vehículos en las avenidas principales de la ciudad que rondan en rangos entre los veinte a cincuenta millones de vehículos al año por calle, entre ellas se encuentran la Av. Simón Bolívar, Av. Mariscal Sucre, Av. Occidental, Av. Naciones Unidas, Av. 10 de Agosto, Av. de la Prensa y Av. Panamericana norte. Sin embargo, también se genera un alto número de vehículos que circula entre los quince a veinte millones anuales por calle, especialmente en los sectores centro, norte y las avenidas principales del sur de la ciudad como se puede evidenciar en el Gráfico No 66.

La emisión de monóxido de carbono (CO) es mayor las avenidas Simón Bolívar y Occidental, sobre todo en los sectores más acercados al norte de la ciudad, por otro lado, también existe una alta emisión en las avenidas principales en toda la

ciudad, pero con valores significativamente menores en comparación, como se observa en el Gráfico No 67.

El año 2019 presenta una mayor emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) en las avenidas Occidental, Simón Bolívar, Rumiñahui y partes de las avenidas Mariscal Sucre y 10 de Agosto, el centro de la ciudad presenta valores intermedios de emisión, mientras que el sector sur tiene los valores más bajos de COV, como se muestra en el Gráfico 68.

En el Gráfico 69 se observa que las vías con mayor generación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) con valores hasta de 24000 toneladas son los extremos norte de las avenidas Occidental y Simón Bolívar, mientras que el resto de la ciudad se encuentra en un rango intermedio de entre 5000 y 12000 toneladas en el año 2019.

La mayor cantidad de emisiones anuales de material particulado de 10 micras ( $\text{PM}_{10}$ ) y material particulado de dos y media micras ( $\text{PM}_{2,5}$ ) según el Gráfico 70 y Gráfico 71 se da en toda la extensión de las avenidas Simón Bolívar, Rumiñahui, Occidental y Mariscal Sucre. En la zona centro y norte de la ciudad se tienen rangos intermedios, mientras que la zona sur presenta los valores más bajos de emisión.

Los sectores norte de la ciudad, en especial en las avenidas occidental y Simón bolívar presentan la mayor generación de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) por sobre las 100 toneladas, incluso llegando a extremos de 190 toneladas al año, lo cual se observa en el Gráfico 72.

El Gráfico 73 muestra una distribución de la emisión de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) similar a la de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) pero con valores que rondan entre 1,5 hasta 3,02 toneladas en los lugares de mayor emisión, y unos valores intermedios en el resto de la ciudad que van de 0,3 a 1,5 toneladas en el año 2019.

Gráfico N° 65 Mapa de tráfico vehicular

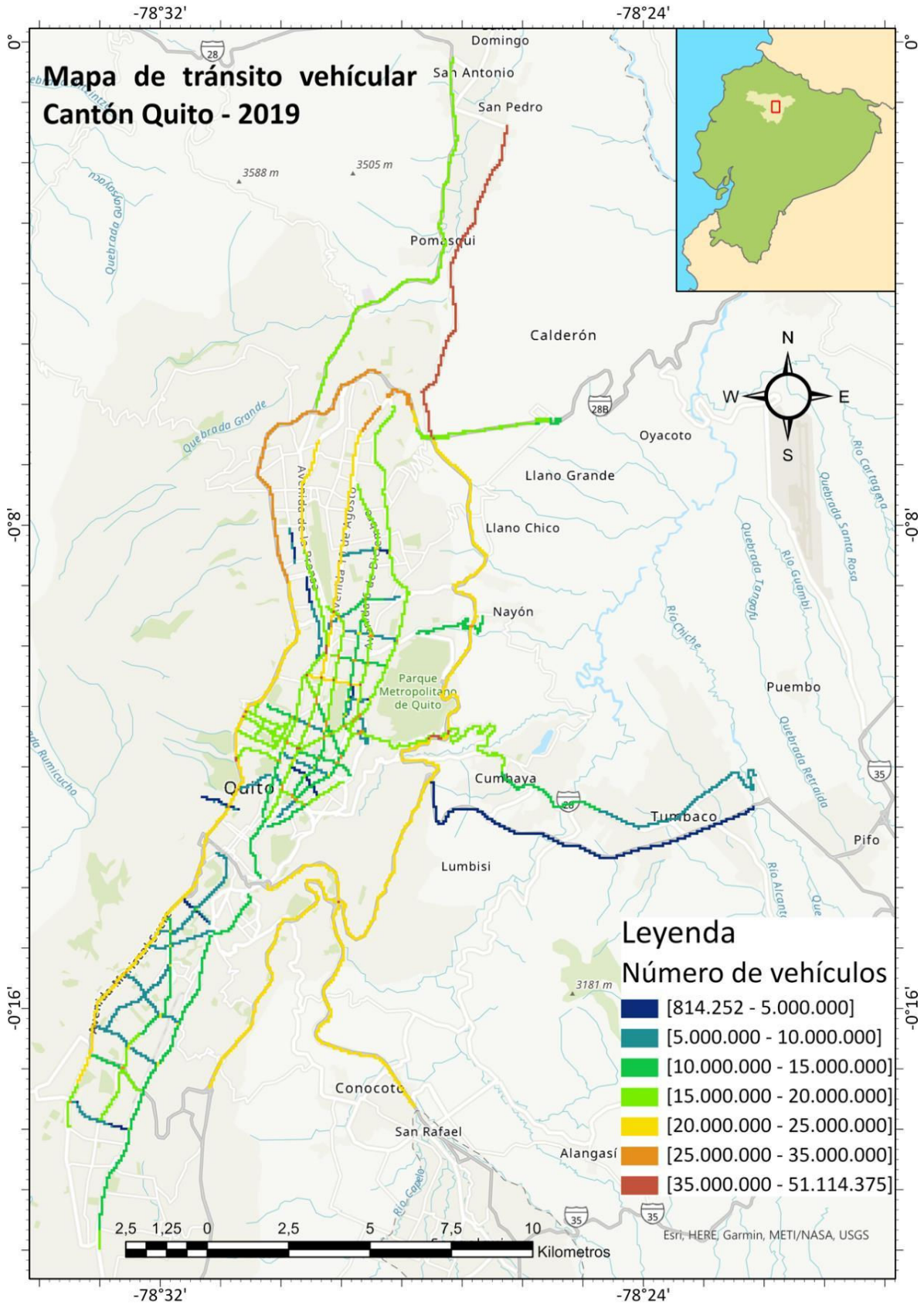




Gráfico N° 66 Mapa de emisión de CO (t/año)

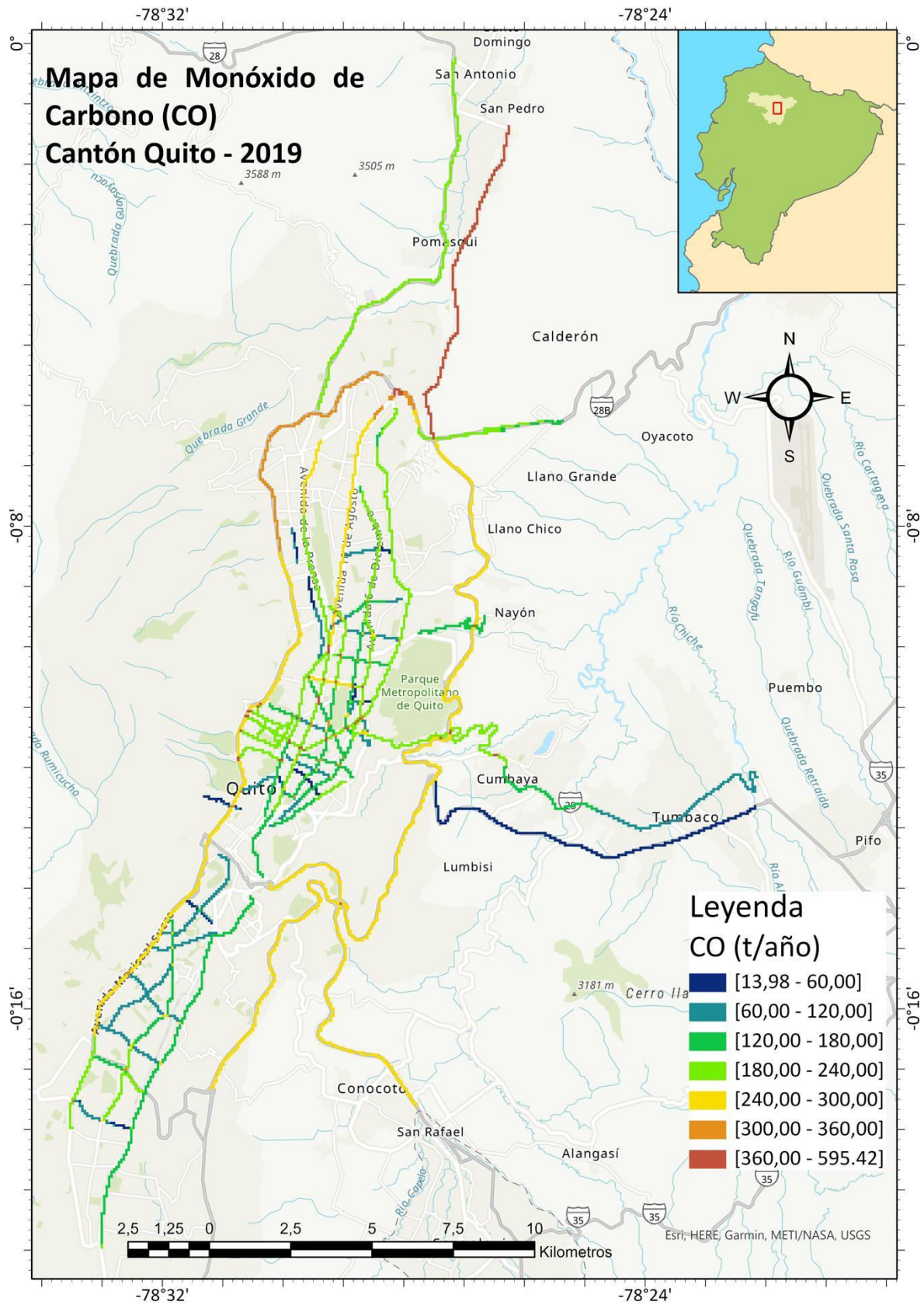






Gráfico N° 68 Mapa de emisión de CO<sub>2</sub> (t/año)

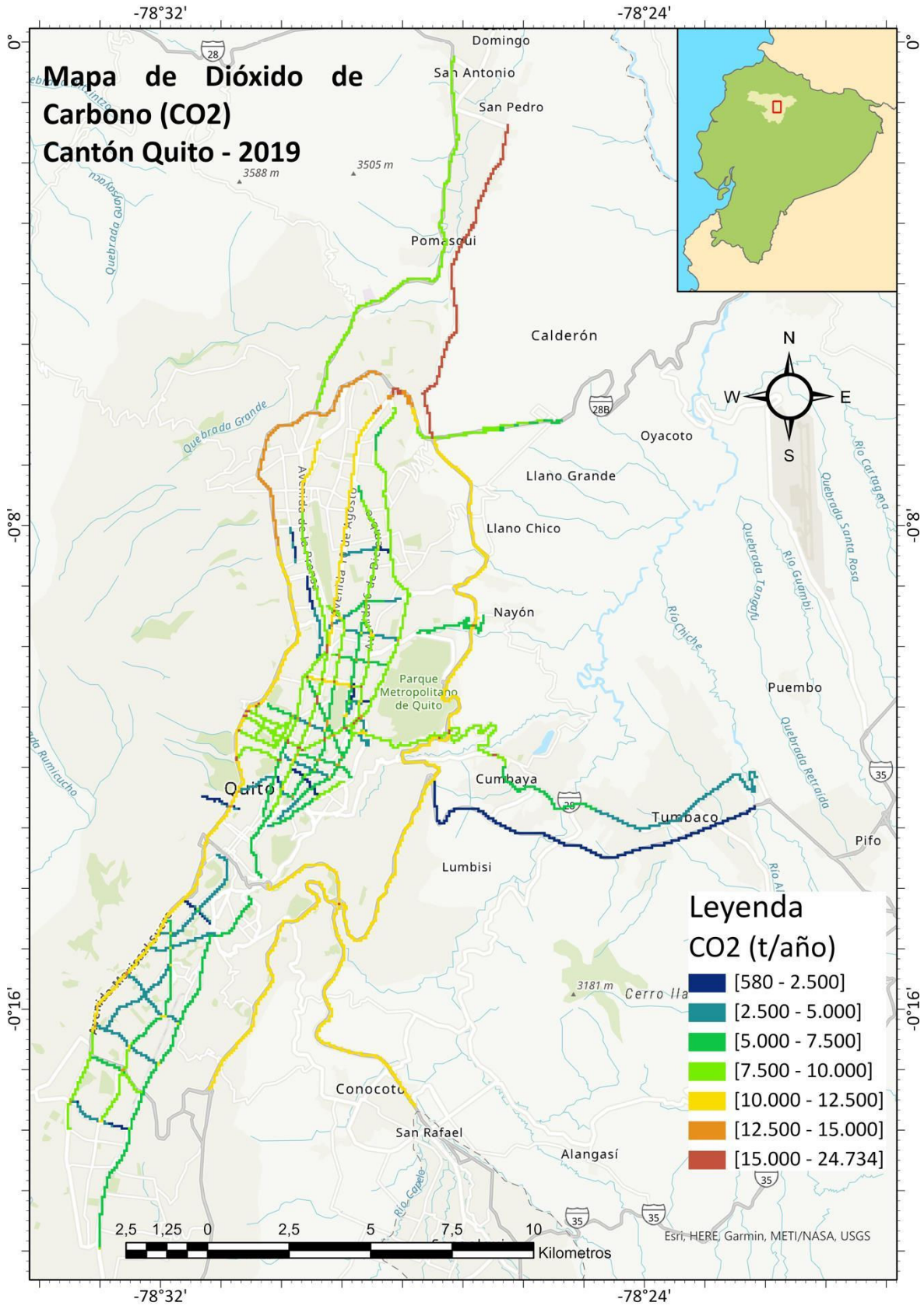






Gráfico N° 70 Mapa de emisión de PM<sub>2,5</sub> (t/año)

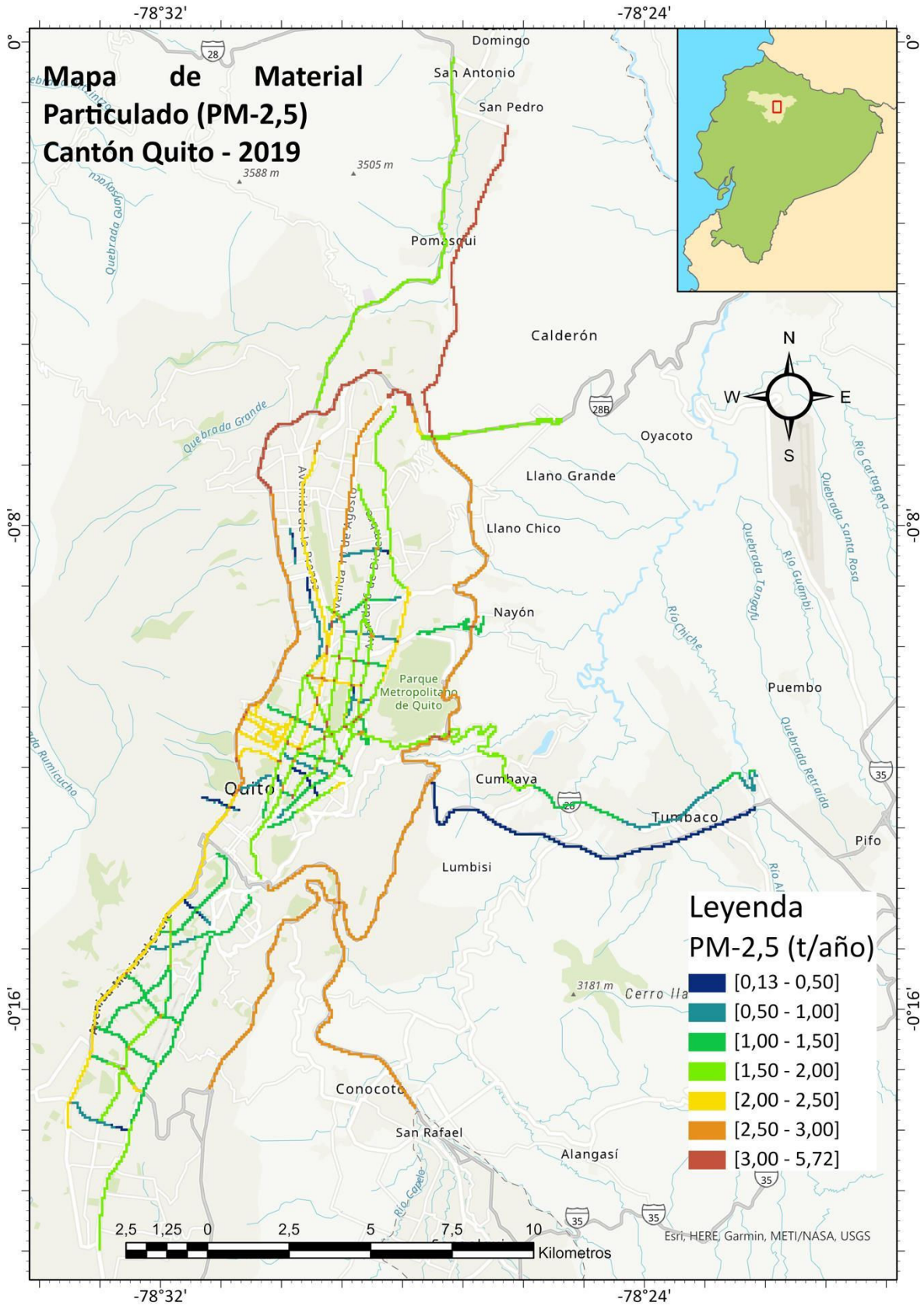


Gráfico N° 71 Mapa de emisión de NO<sub>x</sub> (t/año)

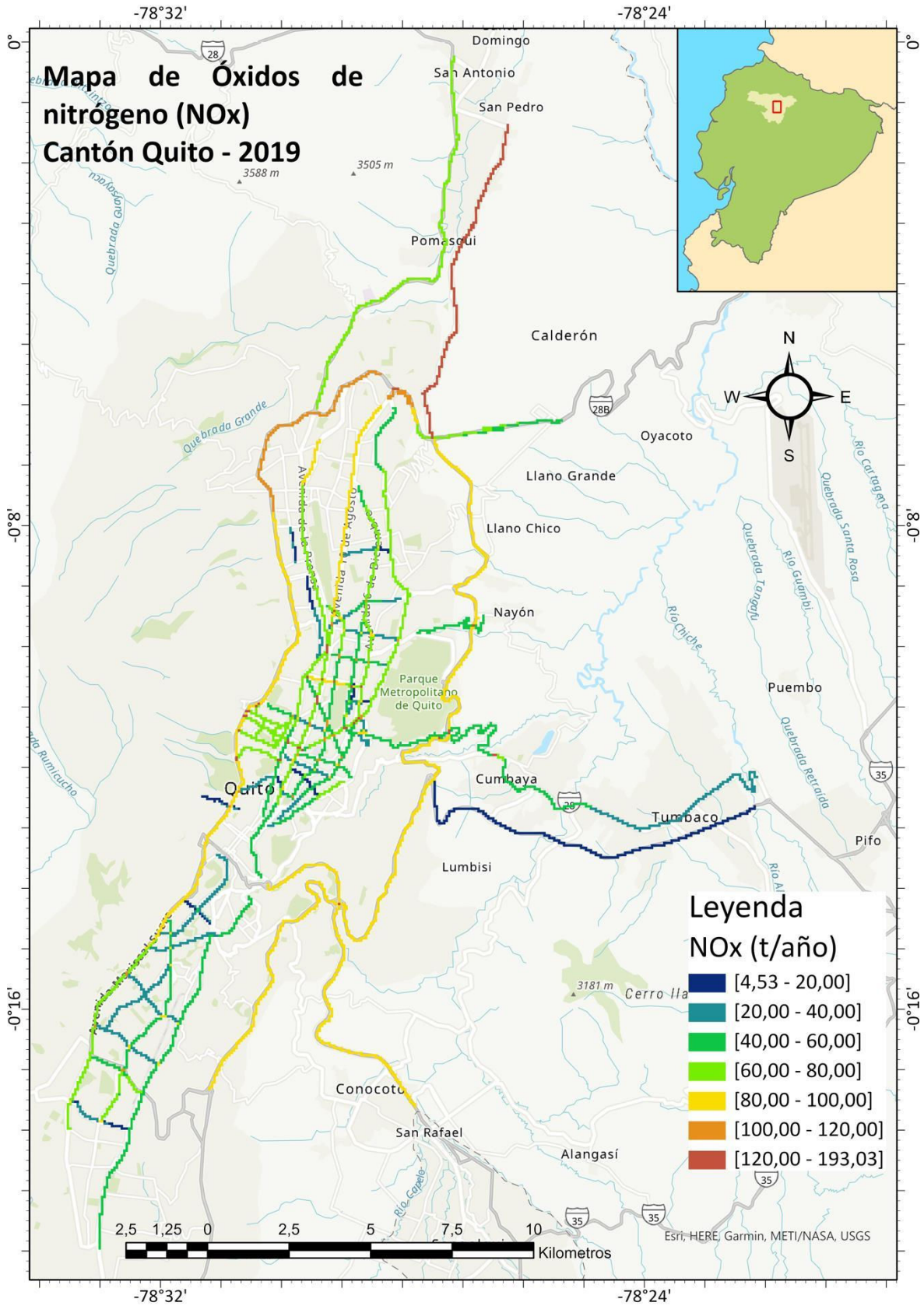
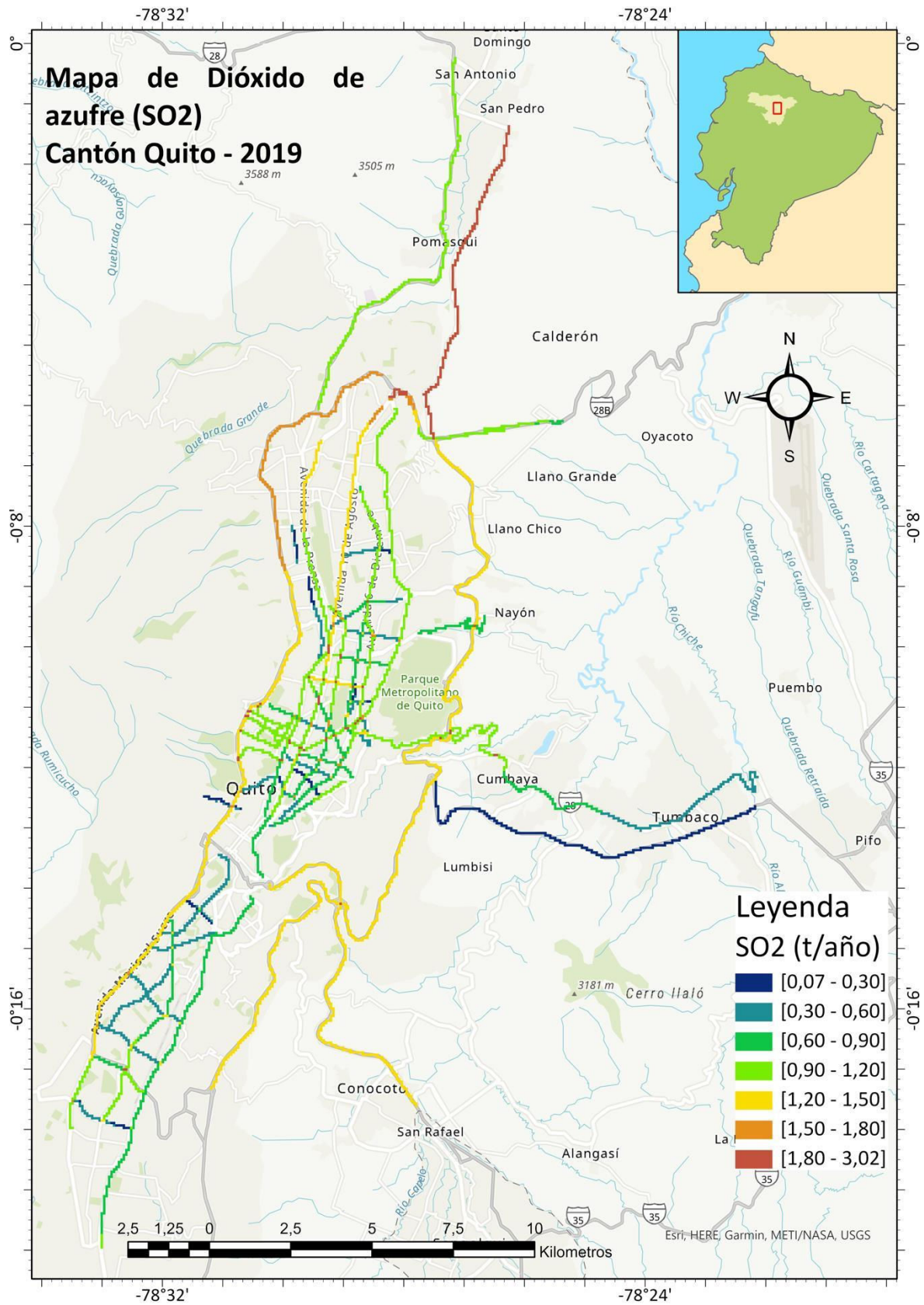




Gráfico N° 72 Mapa de emisión de SO<sub>2</sub> (t/año)



## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El capítulo final del trabajo realizado presenta las conclusiones generadas a lo largo de toda la investigación, así como las recomendaciones las cuales fueron generadas desde nuestro punto de vista y con un enfoque a posibles proyectos que ayuden en la mejora continua de la calidad del aire del DMQ.

#### **5.1. CONCLUSIONES**

La calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito en relación con la emisión por fuentes móviles a empeorados por un aumento en la cantidad de contaminantes emitidos en relación con el ultimo inventario en 2011, teniendo a su vez un aumento significativo en todos los contaminantes con excepción del SO<sub>2</sub> y los COV's.

Se demuestra que en la ciudad de Quito existe un crecimiento en el parque automotor en comparación con el inventario anterior del 2011, lo que a su vez ha provocado un aumento significativo en la generación de contaminantes atmosféricos por fuentes móviles.

Se ve una anomalía característica del año 2019 en el mes de octubre, ya que existe una disminución significativa de las emisiones de fuentes móviles, esto se dio como consecuencia del paro nacional en contra del alza de combustibles, lo cual impidió la movilización en toda la ciudad de Quito.

La gran cantidad de emisiones generadas se debe a la movilidad poco planificada del DMQ, donde se evidencia que la mayoría de los recorridos diarios que realiza una persona se dan hacia el hipercentro de la ciudad donde se acumula el tráfico por ende se genera la mayor cantidad de emisiones.

La mayoría de las emisiones de material particulado y de óxidos de nitrógeno se dan por vehículos a diésel, en su mayoría se presentan por vehículos de carga,



debido a la gran cantidad de vehículos existente y las grandes distancias recorridas por los mismos.

Los vehículos a gasolina son los principales generadores de CO con un 89%, SO<sub>2</sub> con un 86% y VOC con un 73%, esto se debe a las características del combustible y sobre todo que los vehículos a gasolina son el 86,1% del parque automotor.

Existe una mejora en la distribución espacial de la generación de contaminantes atmosféricos por fuentes móviles, esto se da debido a la caracterización del parque vehicular mediante el uso de los conteos horarios por parte de los semáforos inteligentes, sin embargo, existen varias zonas dentro de la ciudad que necesitan de esta tecnología para pulir la exactitud del mapa

Los factores de emisión utilizados para cálculo de CO y NO<sub>x</sub> presentan un mayor acercamiento a la realidad en comparación del anterior inventario del 2011 ya que se utilizaron factores calculados en las condiciones climáticas de la ciudad, además de tecnología y combustibles propios.

Se elaboró un mapa de tráfico para el Distrito Metropolitano de Quito, el cual sirvió como base para ubicar espacialmente a las emisiones en las diversas avenidas de la ciudad. El mapa representa la cantidad de vehículos que circulan por un tramo determinado.

El mapa emisiones mostro una mayor concentración de las emisiones por fuentes móviles en la Av. Simón Bolívar, Av. Mariscal Sucre, Av. Occidental, Av. Naciones Unidas, Av. 10 de Agosto, Av. de la Prensa y Av. Panamericana norte, en la mayoría de contaminantes analizados.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Es necesario realizar un inventario de emisiones que conste de fuentes fijas y fuentes móviles, con el objetivo de unificar resultados al momento de buscar alternativas para una mejora en la calidad del aire de la capital.

Se debe impulsar en la ubicación de más semáforos inteligentes, con la finalidad de obtener una mayor cantidad de información de conteos vehiculares, permitiendo a su vez mejorar la distribución espacial de los contaminantes.

Se debe crear una base de datos de acceso público para tener acceso a la información de conteos vehiculares manuales, semafóricos y de sensores, con el objeto de obtener resultados más precisos y seguros.

Es muy importante mejorar la calidad de los inventarios con el transcurso del tiempo, para esto es necesario la colaboración de todos los entes municipales a cargo de recolectar la información pertinente para su elaboración, caso contrario se dificulta demasiado la accesibilidad a todos los datos lo que imposibilita el desarrollo normal y planificado de un inventario de fuentes móviles.

Es necesario para un acercamiento más preciso a nuestra realidad, el impulso en la investigación con el fin de conseguir factores de emisión propios para el DMQ.

Para los futuros inventarios se recomienda utilizar programas computacionales que permitan realizar cada vez más cálculos, con el objeto de crear un inventario más completo y que posea la mayor cantidad de variables que hacen que la calidad del aire mejore o empeore.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

A. Requena, R. Quintanilla, J.M. Bolarín, A. Bastida y J. Zúñiga. Nuevas Tecnologías y Contaminación de Atmósferas, para PYMEs. s/f. III-3-10, Pag.1. Universidad de Murcia. Spain

AEADE (2012) Anuario 2011. Asociación de empresas automotrices del Ecuador.

Agencia Europea del Medio Ambiente (2015). Contaminación atmosférica. Ayuntamiento de Madrid. Recuperado el 20 de abril del 2020 de: <http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calaire/ContAtmosfera/Contaminantes/>

Baca, J. (2014). Informe final inventario de emisiones de contaminantes criterio. DMQ 2011 Secretaría Del Ambiente, Quito.

Blasser, M. (2000). Dispersión de la contaminación atmosférica causada por el tráfico vehicular. El salvador: swisscontact.

Bosch, R. (2005). Manual de la técnica del automóvil 4ta edición. Editorial GmbH. Plochingen.

Calvo, Eduardo, Max Campos, Rodolfo Carcavallo, Carlos C. Cerri, Carlos Gay-García, Luis J. Mata, Andrés Saizar, Patricio Aceituno, Rigoberto Andressen, & Vicente Barros. (2013). "Impactos Regionales Del Cambio Climático." Recuperado el 20 de marzo del 2020 de: <http://www.grida.no/Climate/ipcc/regional/pdf/amla.pdf>.

CARB (2000) "Total Particulate matter emission factors, Section 4.12", en 2004 - 2005 Annual Average Emissions. California Air Resources Board. California.

Cárdenas, M. D., & Armas, O. (2016). Estudio de las emisiones de motores diésel de automoción en condiciones de funcionamiento transitorias al usar biodiesel, tesis doctoral. Universidad de Castilla La Mancha. Obtenido de:

file:///C:/Users/prof.biblioteca/Downloads/TESIS%20C%C3%A1rdenas%20Almena.pdf

CONAMA (2009). Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile. Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Fuentes Fijas y Móviles en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. Santiago de Chile.

Conde, L. (2008) Guías de las buenas prácticas y manejo de incertidumbres en los inventarios, secretaria del ambiente y recursos naturales, Ciudad de México.

Coyago, A. P. R., Ortega, S. F. C., & Pinargote, A. J. P. (2017). Análisis de la aplicación del pico y placa en la ciudad de Quito. INNOVA Research Journal, 2(6), 136-142.

CRESPI, V. (2008) Top – Down vs. Bottom – Up Methodologies in Multiagent System Desing. Autonomous Robots manuscip. Springer Science + Busisness Media,

De Nevers, N. (2000). Air pollution control engineering. Waveland press. Second edition

De Nevers, N., & Pérez Castellanos, J. H. (1998). Ingeniería de control de la contaminación del aire (No. Serie: i9789701016824 TD883).

Díaz V. (2015). “CALIDAD DEL AIRE EN QUITO INFORME ANUAL 2015.” Secretaría del Ambiente Quito. Recuperado el 5 de marzo del 2020 de [http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaría\\_Ambiente/red\\_monitoreo/informacion/ICA2015.pdf](http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaría_Ambiente/red_monitoreo/informacion/ICA2015.pdf)

Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural (2012). Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera 2012. Volumen 2: Análisis por Actividades SNAP. Gobierno de España

EEA (2016) European Environment Agency. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. Technical guidance to prepare national emission inventories. Luxembourg. No. 12. ISBN 978-92- 9213-806-6. ISSN: 1977-8449.

EEA (2019) European Environment Agency. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019.

Efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad: resultados del Proyecto EMECAM en Vitoria-Gasteiz. 1990-1994. María José Pérez, Andrés Alonso. Ayto. de Vitoria-Gasteiz. Revista Española de Salud Pública. 1998. Recuperado el 3 de febrero del 2020 de: <https://www.vitoriagasteiz.org/docs/wb021/contenidosEstaticos/adjuntos/es/52/31/5231.pdf>

El Comercio (2019) Los 11 días de paro que volvieron a la realidad al Ecuador, recuperado de: <https://www.elcomercio.com/actualidad/paro-ecuador-realidad-economia-conaie.html>

EMSAT (2005) “Perfiles de Tráfico 1999 - 2001”. Conteos Manuales y automáticos de la red de semaforización. Empresa Metropolitana de Servicios y Administración del Transporte, Dirección de Informática. Archivos .XLS.

EP Petroecuador. (2012). Combustibles de mejor calidad y menos contaminantes para el país. Quito, Pichincha.

EPA (2000). Emisiones de Fuentes Móviles México Volumen 3- Factor de Emisión. Recuperado el 20 de abril del 2020 de: [https://search.epa.gov/epasearch/?querytext=fuentes+moviles+mexico&inmeta=specialcollection\\_s~EPA%2BArchive&typeofsearch=area&result\\_template=archive](https://search.epa.gov/epasearch/?querytext=fuentes+moviles+mexico&inmeta=specialcollection_s~EPA%2BArchive&typeofsearch=area&result_template=archive).

EPA (2005) “User’s Manual for TANKS 4.0”. [www.epa.gov/ttn/chief/software/tanks/](http://www.epa.gov/ttn/chief/software/tanks/). U.S. Environmental Protection Agency, EPA.

EPA (2015). National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Recuperado el 5 de marzo del 2020 de <https://www3.epa.gov/ttn/naaqs/criteria.html>

EPPetroecuador (2012). Reporte de despachos mensuales de combustible desde Beaterio y Oyambaro, año 2011. Archivos electrónicos .XLS, Warehouse.

EURO 6. (2015). Norma Euro para el control de emisiones. Recuperado el 20 de septiembre del 2020 de: <https://www.total.es/nuestros-productos/novedades-para-el-motor/norma-euro-para-el-control-de-emisiones>

European Enviromental Agency (2016). COPERT 4. Recuperado el 10 de abril del 2020 de: <https://eea.europa.eu/data-and-maps/external/copert-4>

Flagan, R. C., & Seinfeld, J. H. (1998). Fundamentals of air pollution engineering. Courier Corporation.

Fuentes, Carlos Eduardo Hernández, Félix Luis Rodríguez Pérez, and Antonio Pérez Rodríguez. 2009. "Polvo Sedimentable, Asma Bronquial y Enfermedades Respiratorias Agudas. San Antonio de Los Baños. La Habana." *Revista Habanera de Ciencias Médicas* 8(1).

Gaitán, Mauricio, and Paula Andrea Cárdenas. 2017. *Guía Para La Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas*. [http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones\\_atmosfericas\\_contaminantes/documentos\\_relacionados/GUIA\\_PARA\\_LA\\_ELABORACION\\_DE\\_INVENTARIOS\\_DE\\_EMISIONES\\_ATMOSFERICAS.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/documentos_relacionados/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf).

Gobierno de Aragón. (2014). La Calidad del aire en Aragón: Contaminantes y su dispersión. Aragón-España. Recuperado de: [http://www.aragonaire.es/moreinfo.php?n\\_action=pollutants](http://www.aragonaire.es/moreinfo.php?n_action=pollutants)

Guadalupe, J. (2016) "Modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres en Quito, Ecuador". Universidad Técnica Federico Santa María departamento de Ingeniería Mecánica. Valparaíso – Chile

Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas [Recurso electrónico] / Gaitán Varón, Mauricio; Cárdenas Ruiz, Paula Andrea - Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana. Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017.

Hassel, D. & Weber, F. (1997) "Gradient Influence on Emission and Consumption Behaviour of Light and Heavy Duty Vehicles". Institut für Umweltschutz und Energietechnik.

Ibarra, B., Parra, R., Valencia, V., Páez, C. (2006) Inventario de Emisiones Atmosféricas de Quito año 2003 y su distribución espacial y temporal. En: Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito (1o, 2006, Ecuador) Quito, CORPAIRE, pp. 22.

INEC (2020). Quito, el cantón más poblado del Ecuador en el 2020. Recuperado el 20 de abril del 2020 de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/quito-el-canton-mas-poblado-del-ecuador-en-el-2020/>

Instituto ecuatoriano de normalización (2016) INEN 935. Productos derivados del petróleo. Gasolina requisitos, recuperado de: <https://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/06/nte-inen-935-9.pdf>

Instituto ecuatoriano de normalización (2011) INEN 1489. Productos derivados del petróleo. Diésel requisitos, recuperado de: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1489-5.pdf>

IPCC (1997) "Volume 2 Workbook". Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC (2020). History. Recuperado el 4 de mayo de 2020 de: <https://www.ipcc.ch/about/>

León & Godoy Consultores (2004) Modelo de Tráfico del Distrito Metropolitano de Quito año 2005. Dirección Metropolitana de Transporte, DMT. Archivos digitales formato .SHP.

Ley 41 de Salud Pública Cuba (capítulo 3): Higiene y Epidemiología. Sección quinta. Control Sanitario del Ambiente. Disponible en URL: <http://www.medioambiente.cu/legislacion/leyes/L-41.htm>

Lovera, D., Osses, M., Nikila, N., Nuñez, D., Valentín, L., Mayor, G., Valdivia, H., & Vera, S. (2012). MODELO IVE: METODOLOGÍA, MEDICIONES Y SIMULACIÓN DE LAS EMISIONES DE FUENTES MÓVILES EN LA CIUDAD DE LIMA - PERÚ. *Revista Del Instituto De Investigación De La Facultad De Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica Y Geográfica*, 7(14), 92-99. Recuperado a partir de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/736>

MAE (2015). Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión Libro VI Anexo 4. Acuerdo Ministerial No. 097-A del 30 de julio del 2015, publicado en el Registro Oficial - Edición Especial No. 387 del 04 de noviembre del 2015. Ministerio del Ambiente 2015.

Mejía D., Zegarra R., Astudillo A., y Moscoso, D. 2018. "Análisis de Partículas Sedimentables y Niveles de Presión Sonora En El Área Urbana y Periférica de Cuenca." *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas* 19: 55–64.

Mena, P. (2004) Vehículos Registrados en la EMSAT 2002 - 2004.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia MAVDTa (2020). Contaminación Atmosférica. Recuperado el 20 de abril del 2020 de: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1801:plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-2>

Ministerio del Ambiente (2010). Plan Nacional de la Calidad del Aire, Ecuador. Recuperado el 5 de enero de: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico España. (2017).

Miquel, T. (2012). Estabilidad e inestabilidad atmosférica. Madrid-España. Recuperado el 14 de febrero del 2020 de



<http://meteomostoles.blogspot.com/2012/11/estabilidad-einestabilidad-atmosferica.html>

Música, V., Vega, E., Sánchez, G., Reyes, E., Arriaga, J. L., Chow, J., Watson, J., & Egami, R.. (2001). Volatile organic compounds emissions from gasoline and diesel powered vehicle. *Atmósfera*, 14(1), 29-37. Recuperado en 08 de marzo de 2021, de <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sciarttext&pid=S018762362001000100003&lng=es&tlng=en>.

Narváz N., Jiménez S. (2016). Atlas ambiental 2016, Quito sostenible. Secretaria del Ambiente Distrito Metropolitano de Quito.

Núñez H. & Narváz M. (2009). Plan Maestro de Movilidad para el Distrito Metropolitano de Quito.

Ocaña. L., Parra., R; (2014) Cálculo de factores de emisión vehicular para la zona urbana de Quito en base al análisis de los registros de la Revisión Técnica Vehicular del año 2012 y monitoreo en ruta de campo, Universidad San Francisco De Quito.

OMS (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Organización Mundial de la Salud 2006. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02

OMS (2018). Calidad del aire y salud. Recuperado el 10 de marzo del 2020 de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Oviedo J. (2015). “Consultoría: Actualización del Plan de Manejo de La Calidad del Aire 2005 – 2010 INFORME FINAL.”

Páez, C. (2005) Gestión de la Contaminación Atmosférica Urbana: El caso de Quito. Resumen Ambiental. 17p.

Petroecuador (2018) Petroecuador mejora la calidad de Diésel que se procesa en Refinería Esmeraldas recuperado de: <https://www.eppetroecuador.ec/?p=5489>

Pierce, T. Isakov, V. Haneke, B. Paumier, J. (2008). Emission and Air Quality Modeling Tools for Near-Roadway Applications. EPA.

- Platt, S.M., El Haddad, I., Pieber, S.M. (2017),. Gasoline cars produce more carbonaceous particulate matter than modern filter-equipped diesel cars. *Sci Rep* 7, 4926 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03714-9>
- Portilla, A., Caiza, P. (2010). Determinación de la influencia de la altura en emisiones contaminantes de un vehículo con motor de ciclo otto, de inyección electrónica de gasolina. Escuela Politécnica Nacional
- Puga. E., Álvarez., (2005) Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Represa, Sol. (2011). "Modelos de dispersión para fuentes lineales: Estudio de un Caso". Universidad Nacional de la Plata (Enero 2011).
- Revista Cubana de Higiene y Epidemiología (2006) versión On-line ISSN 1561-3003. V.44 n.2 Ciudad de la Habana Mayo-ago.
- Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda. (2012). Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial 2012-2022. Distrito Metropolitano de Quito.
- Secretaría del ambiente (s.f.) Informes, Distrito metropolitano de Quito. Recuperado el 20 de enero del 2020 de: <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/documentos-indice-quiteno-de-calidad-del-aire>
- Secretaría del Ambiente DMQ. (2016). Atlas ambiental del Distrito Metropolitano de Quito - Calidad del aire. Recuperado el 30 de abril del 2020 de: <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/atlas-ambiental>
- SMA (2005) "Memorias de cálculo, Anexo A". Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2000. Secretaría del Medio Ambiente - Gobierno del D.F. México.
- SMA (2006) Factores de emision Mexico 1998, 2000, 2003, 2004, Secretaría del Medio Ambiente - Gobierno del D.F. México.
- Velasco E. (2001). Biogenic Emissions: Emissions of volatile organic compounds no methane from vegetation and nitric oxide from soil. Editor: National Institute of Ecology of Mexico. ISBN: 968-817-699-0

WHO (2003). Europe reports Health Aspects of Air Pollution. Recuperado el 20 de abril del 2020 de: <http://www.who.dk/document/e79097.pdf>

WHO (2016) Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. Recuperado el 20 de abril del 2020 de: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/250141/1/9789241511353eng.pdf?ua=1> (consultado el 6 de marzo del 2020).

World Health Organization. (2016). Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease.

**ANEXOS**

## **ANEXO 1**

Clasificación Vehicular

Hoja de cálculo en Excel

## **ANEXO 2**

Factores de emisión

Hoja de cálculo en Excel

### **ANEXO 3**

RTV con cálculo de la actividad

Hoja de cálculo en Excel

## **ANEXO 4**

Distribución de puntos de conteos vehiculares.

Hoja de cálculo en Excel



**ANEXO 5**

Mapa de CO

Mapa ArcGis

**ANEXO 6**

Mapa de NO<sub>2</sub>

Mapa ArcGis

## **ANEXO 7**

Mapa de SO<sub>2</sub>

Mapa ArcGis

## **ANEXO 8**

Mapa de PM<sub>10</sub>

Mapa ArcGis

## **ANEXO 9**

Mapa de PM<sub>2.5</sub>

Mapa ArcGis

**ANEXO 10**

Mapa de COV

Mapa ArcGis

## **ANEXO 11**

Mapa de tráfico vehicular

Mapa ArcGis