

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**

"Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> procedentes del tubo de escape del transporte urbano interno de Durán"

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Químico**

Presentado por:

Sergio Arquímedes Delgado García

Paúl Steven Ayala Jalca

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

## DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedicamos a nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años. Gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos.

A nuestras hermanas y hermanos, por estar siempre presentes acompañándonos, y por el apoyo moral que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por bendecirnos y darnos el coraje y las fuerzas para alcanzar nuestras metas.

Nuestro más sincero agradecimiento a nuestras familias, sin su apoyo incondicional nada de esto hubiese sido posible.

A Fiama, por su transcendental ayuda en este proyecto.

A la PhD. Gladys Rincón, tutor de nuestro proyecto, por haber compartido su conocimiento y guiarnos con paciencia a lo largo de nuestra investigación.

A EMOT, por su aporte y colaboración.

Y a todos aquellos que de manera directa e indirecta ayudaron en la realización de este proyecto.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Sergio Arquímedes Delgado García* y *Paúl Steven Ayala Jalca* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

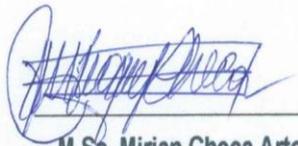
*Sergio Delgado G.*

Sergio Arquímedes Delgado García

*Paúl Steven Ayala Jalca*

Paúl Steven Ayala Jalca

## EVALUADORES



**M.Sc. Mirian Checa Artos**

PROFESOR DE LA MATERIA



**PhD. Gladys Rincón Polo**

PROFESOR TUTOR



**M.Sc. Juan José Izurieta**

PROFESOR COTUTOR

## RESUMEN

El cantón Durán, provincia del Guayas, Ecuador, cuenta con servicio de transporte público interno, el cual emite gases de combustión a través del tubo de escape, producto de la quema de diésel premium por combustión interna. El presente estudio estima las emisiones dióxido de carbono y material particulado menor a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>) de estos vehículos para el año 2017.

Para la estimación del inventario de emisiones de dióxido de carbono y material particulado se basó en las directrices propuestas por el Grupo Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC). Esta metodología se considera pertinente en caso de emisiones de vehículos construidos en base a normas europeas, la cual considera variables como la actividad vehicular, calidad de combustible, normativa bajo la cual fue construido el vehículo, tipo de carretera y condiciones meteorológicas del lugar donde se desempeña la actividad vehicular.

Para la estimación de las emisiones se usó el modelo COPERT V de la Agencia Europea de Ambiente (EEA), siendo este un método indirecto para estimar emisiones de vehículos que fueron construidos con normativa europea de emisiones vehiculares. El modelo estimó que las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> para el año 2017 fueron de 7603,92 toneladas y 1,675 toneladas, respectivamente.

El estudio del comportamiento de la cantidad de emisiones en relación con las variables que inciden en el resultado obtenido denota que existen parámetros que pueden ayudar con la reducción de emisiones: disminución del recorrido en zona rural y actualización de los buses.

**Palabras Clave:** inventario de emisiones, dióxido de carbono, PM<sub>2.5</sub>, transporte público.

## **ABSTRACT**

The city of Durán, province of Guayas, Ecuador, has an internal public transport service, which emits combustion gases through the exhaust pipe, product of the burning of premium diesel by internal combustion. The present study estimates carbon dioxide emissions and particulate matter less than 2.5 micrometers (PM<sub>2.5</sub>) of these vehicles by the year 2017.

For the estimation of the inventory of carbon dioxide emissions and particulate matter, it was based on the guidelines proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). This methodology is considered relevant in the case of vehicle emissions built based on European standards, which considers variables such as vehicle activity, fuel quality, regulations under which the vehicle was built, type of road and meteorological conditions of the place where plays the vehicular activity.

For the estimation of emissions, the COPERT V model of the European Environment Agency (EEA) was used, this being an indirect method to estimate vehicle emissions that were built with European regulations on vehicle emissions. The model estimated that CO<sub>2</sub> and PM<sub>2.5</sub> emissions for the year 2017 were 7603.92 tons and 1.675 tons, respectively.

The study of the behavior of the quantity of emissions in relation to the variables that affect the obtained result denotes that there are parameters that can help with the reduction of emissions: decrease of the route in rural area and update of the buses.

**Keywords:** *inventory of emissions, carbon dioxide, PM<sub>2.5</sub>, public transport.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema .....	2
1.2 Objetivos .....	4
1.2.1 Objetivo General .....	4
1.3 Justificación del problema .....	4
1.3.1 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Marco teórico.....	6
1.4.1 La Contaminación .....	6
1.4.2 Contaminantes de Criterio .....	6
1.4.3 Emisiones vehiculares .....	9
1.4.4 Controles de emisiones .....	11
1.4.5 Inventario De Emisiones .....	12
CAPÍTULO 2.....	26
2. METODOLOGÍA .....	26

2.1	Establecer la categoría de los contaminantes según las directrices de la IPCC.	27
2.2	Selección del modelo de acuerdo con el criterio de la IPCC .....	28
2.3	Nivel del método para la estimación de emisiones.....	28
2.4	Determinación de las variables de ingreso solicitado por el modelo COPERT.	30
2.4.1	Datos de actividad vehicular .....	32
2.4.2	Datos de Combustible.....	33
2.4.3	Datos de medio ambiente .....	33
2.4.4	Factor de emisión. ....	34
2.5	Calibración de las variables usadas por el modelo COPERT V. ....	34
2.6	Estimación de dióxido de carbono y PM <sub>2.5</sub> emitido por la flota de EMOT mediante el modelo COPERT .....	35
CAPÍTULO 3.....		38
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	38
3.1	Metodología.....	38
3.2	Modelo.....	38
3.3	Nivel .....	38
3.4	Actividad vehicular.....	39
3.5	Combustible .....	50
3.6	Datos de medio ambiente.....	51
3.7	Factor de emisión .....	51
3.8	Resultados de Calibración del modelo COPERT V.....	52
3.8.1	Calibración de variables meteorológicas .....	52
3.8.2	Calibración de la variable combustible consumido en Terajoules [TJ]... ..	53

3.8.3	Calibración de la variable kilometraje de vida del vehículo .....	54
3.8.4	Calibración de las normativas de emisión de los vehículos .....	56
3.8.5	Calibración de contenido de metales en lubricantes.....	57
3.9	Estimación de emisiones de CO <sub>2</sub> y PM <sub>2.5</sub> .....	62
CAPÍTULO 4.....		66
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS .....		68
ANEXOS.....		73
ANEXO RUTAS.....		73
ANEXO TABLAS DE RESULTADOS .....		75
ANEXOS FIGURAS.....		78

## ABREVIATURAS

AR5	Fifth Assessment Report
ARCH	Agencia de regulación y control de hidrocarburos.
CMNUCC	Convención Marco Naciones Unidas sobre el cambio climático
COP 16	Conferencia de las partes 16
COP 21	Conferencia de las partes 21
COP 8	Conferencia de las partes 8
COPERT V	Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport
EEA	European Environment Agency
EEV	Enhanced environmentally friendly vehicle
EMEP/EEA	European Monitoring and Evaluation Programme/European Environment Agency
EMOT	Empresa de movilidad y tránsito de Durán
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
EURO I	Normativa Europea I
EURO II	Normativa Europea II
EURO III	Normativa Europea III
EURO IV	Normativa Europea IV
EURO V	Normativa Europea V
EURO VI	Normativa Europea VI
GEI	Gases efecto invernadero
GWP	Global Warming Potential
IBA	Informe Bienal de actualización
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INGEI	Inventarios Nacionales de gases efecto invernadero
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MOVES	Motor Vehicle Emission Simulator
US EPA	United States Environment Protection Agency

## SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
°C	Grado Celsius
Cd	Cadmio
CH <sub>4</sub>	Metano
CN	Carbono negro
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COP	Compuestos Orgánicos Persistentes
COV	Compuestos orgánicos volátiles
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Gg	Gigagramo
g	Gramo
h	Hora
HAP	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
Kg	Kilogramo
km	Kilómetro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
min	Minuto
MJ	Megajoule
mm	Milímetro
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NH <sub>3</sub>	Amoniaco
Ni	Níquel
NO	Monóxido de nitrógeno
NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrógeno
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
O <sub>3</sub>	Ozono
Pb	Plomo

PM	Material particulado
PM <sub>10</sub>	Material particulado 10
PM <sub>2.5</sub>	Material particulado 2.5
PPM	Partes por millón
S	Azufre
Se	Selenio
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre
t	Tonelada
TJ	Terajoule
Zn	Zinc

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Procesos de emisión de los vehículos.....	10
Figura 1.2 Ciclo de desarrollo de un inventario de emisiones. ....	15
Figura 2.1 Árbol de decisión para las emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes de la quema de combustible en los vehículos terrestres.....	29
Figura 2.2 Diagrama de Flujo de Metodología para Análisis Per Cápita de Contaminantes CO <sub>2</sub> y PM <sub>2.5</sub> .....	37
Figura 3.1 Ruta 1 de transporte interno de Durán .....	44
Figura 3.2 Ruta 2 de transporte interno de Durán .....	45
Figura 3.3 Ruta 4 de transporte interno de Durán .....	45
Figura 3.4 Ruta 5 de transporte interno de Durán .....	46
Figura 3.5 Calibración de consumo anual de combustible .....	53
Figura 3.6 Calibración de kilometraje de vida promedio de los buses.....	55
Figura 3.7 Calibración de kilometraje de vida: Emisión CO <sub>2</sub> (t).....	55
Figura 3.8 Calibración de kilometraje de vida: Emisión PM <sub>2.5</sub> (t).....	56
Figura 3.9 Calibración de las normativas de emisión de los vehículos: Emisiones PM <sub>2.5</sub> (T) .....	57
Figura 3.10 Calibración de contenido de metales lubricantes .....	58
Figura 3.11 Diferentes escenarios de Emisiones de CO <sub>2</sub> de flota EMOT de Durán vs Emisiones de CO <sub>2</sub> de buses de Ambato .....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Contaminantes que permite estimar el modelo MOVES.....	17
Tabla 1.2 Insumos requeridos como variables de entrada en el modelo MOVES.....	18
Tabla 1.3 Categoría vehicular en el modelo COPERT .....	19
Tabla 1.4 Contaminantes estimados en el modelo COPERT .....	19
Tabla 1.5 Factores de emisión para buses construidos bajo la norma EURO II Y III a Diésel .....	21
Tabla 1.6 Factor de emisión base de datos IPCC .....	23
Tabla 1.7 Normativas de emisión para motores de autobuses de la Unión Europea ....	24
Tabla 1.8 Normativas de emisión para motores de autobuses de la US EPA .....	25
Tabla 2.1 Variables de entrada del modelo COPERT V .....	30
Tabla 2.2 Variables de entrada del modelo COPERT V .....	31
Tabla 2.3 Variables a calibrar por el modelo COPERT V .....	35
Tabla 3.1 Flota EMOT. Descripción de la flota vehicular EMOT.....	40
Tabla 3.2 Flota EMOT. Descripción de la flota vehicular EMOT.....	41
Tabla 3.3 Flota EMOT. Descripción de la flota vehicular EMOT.....	42
Tabla 3.4 Flota EMOT. Descripción de la flota vehicular EMOT.....	43
Tabla 3.5 Actividad de la flota EMOT en el año 2017.....	46
Tabla 3.6 Kilometraje de vida útil y rapidez para la ruta 1 .....	47
Tabla 3.7 Kilometraje de vida útil y rapidez para la ruta 2 .....	48
Tabla 3.8 Kilometraje de vida útil y rapidez para la ruta 4 .....	49
Tabla 3.9 Kilometraje de vida útil y rapidez para la ruta 5 .....	50
Tabla 3.10 Especificaciones del combustible .....	51

Tabla 3.11 Temperatura máxima, mínima y humedad relativa.....	51
Tabla 3.12 Variables Meteorológicas: Calibración de Temperatura .....	52
Tabla 3.13 Variables Meteorológicas: Calibración de Humedad Relativa .....	52
Tabla 3.14 Calibración de la variable de combustible consumido en [TJ] .....	53
Tabla 3.15 Calibración de la variable kilometraje de vida del vehículo.....	54
Tabla 3.16 Calibración de kilometraje de vida .....	54
Tabla 3.17 Calibración de las normativas de emisión de los vehículos.....	56
Tabla 3.18 Contenido de metales en lubricantes.....	57
Tabla 3.19 Variables que se calibraron .....	58
Tabla 3.20 Valores usados para la estimación de CO <sub>2</sub> y PM <sub>2.5</sub> para el transporte urbano interno de Durán para el año 2017 .....	59
Tabla 3.21 Valores usados para la estimación de CO <sub>2</sub> y PM <sub>2.5</sub> para el transporte urbano interno de Durán para el año 2017 .....	60
Tabla 3.22 Resultados de Estimación de CO <sub>2</sub> anualmente .....	62
Tabla 3.23 Resultados de Estimación de PM <sub>2.5</sub> anualmente .....	62
Tabla 3.24 Contaminación per cápita de CO <sub>2</sub> y PM <sub>2.5</sub> .....	63

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La empresa EMOT (Empresa de Movilidad y Tránsito) regula el transporte público interno e intercantonal de Durán, concesionado por empresas como TransUrban y UrbaDurán, que de su actividad como transporte público disponen de rutas internas, las cuales serán objeto de este estudio. La ejecución de la actividad de estas empresas requiere el uso de combustible en los motores de combustión interna, la quema de este combustible dentro de los motores produce emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y de material particulado 2.5 ( $\text{PM}_{2.5}$ ), las cuales son partículas que se liberan a través del tubo de escape, produciendo contaminación al ambiente y posible deterioro de la salud de los habitantes.

Las emisiones generadas por fuentes móviles conllevan a la elaboración de un inventario de emisiones, con lo cual se puede tener una perspectiva más amplia acerca de la cantidad de contaminantes y gases efecto invernadero (GEI) que se emiten al medio ambiente a causa de esta actividad.

Existen diferentes tipos de emisiones producidas por fuentes vehiculares, considerando la actividad en la que se encuentra el vehículo, y la zona de la fuente por donde son emitidos estos contaminantes, esto nos permite realizar una estimación de las emisiones. Para el presente trabajo se han seleccionado los siguientes contaminantes: el  $\text{CO}_2$  como gas efecto invernadero y el  $\text{PM}_{2.5}$  por ser el contaminante más común.

El  $\text{CO}_2$ , no es un contaminante porque forma parte del ciclo biológico de los seres vivos. Sin embargo, este compuesto, pertenece al grupo de gases de efecto invernadero por ser responsable del calentamiento global, por lo que sus efectos al medio ambiente contribuyen al cambio climático. El  $\text{PM}_{2.5}$  es un contaminante de riesgo para la salud de los seres vivos, ya que por su tamaño tan pequeño logra penetrar hasta los alveolos pulmonares siendo un posible causante de problemas respiratorios y cardiovasculares.

La necesidad de una orientación metodológica coherente a las características de las fuentes de emisión de los contaminantes conlleva a la aplicabilidad de directrices para la elaboración de un inventario de emisiones. El presente estudio se basa en la metodología propuesta por el IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change) y en el uso del modelo COPERT V para la estimación de emisiones vehiculares.

La elaboración de un inventario de emisiones contribuye a la generación de información con datos importantes para futuros estudios de emisiones a nivel nacional, para la toma de decisiones en mitigación de contaminantes y control de emisiones por fuentes móviles; además de ser un aporte para la determinación de la huella de carbono de la empresa de transporte interno de Durán y de EMOT.

### **1.1 Descripción del problema**

En el Primer Informe Bienal del año 2016 dirigido a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el Ministerio de Ambiente del Ecuador expresó que Durante la Conferencia de las Partes (COP8) se decidió que los países en desarrollo, agrupados en las Partes No incluidas en el Anexo I (PNAI), deberían utilizar la guía establecida como directrices para la preparación del reporte sobre las acciones emprendidas a fin de lograr los compromisos de la Convención. Estas directrices establecen que las Comunicaciones Nacionales presenten información coherente, transparente y flexible considerando las circunstancias nacionales específicas. El Ecuador en su tercera presentación de Comunicaciones Nacionales ha hecho el Reporte del Inventario Nacional de emisiones antropogénicas y absorciones por los sumideros de todos los Gases de Efecto Invernadero (GEI) no dirigidas mediante el Protocolo de Montreal al año 2010” (Ministerio del Ambiente, 2015).

Por primera vez se incluyeron los inventarios de emisiones atmosféricas como herramienta de mitigación y sus efectos en la COP16 celebrada en Cancún en el año 2010. De igual manera, se decidió que las Partes deberán presentar un Informe Bienal de Actualización (IBA) que contenga información actualizada sobre los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), e incluya un inventario nacional y de información sobre las medidas de mitigación, las necesidades en esa esfera y el apoyo recibido (Ministerio del Ambiente, 2015).

En la COP21 Celebrada en el año 2015 en París se estableció el marco global de lucha contra el cambio climático a partir del año 2020 y se promovió una transición hacia una economía baja en emisiones (Ministerio de Agricultura y Pesca Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

Las emisiones vehiculares producen gran cantidad de contaminantes hacia la atmósfera y afectan de manera directa a la calidad del aire. En la actualidad el combustible fósil tal como gasolina o diésel son los principales utilizados por los vehículos, el uso de estos combustibles produce emisiones en diferentes proporciones según la calidad del combustible y las características y condiciones de operación del vehículo (Ministerio del Ambiente, 2014).

El “Informe anual de la calidad del aire en Quito” emitido en el 2006, se estableció que el material particulado de 2,5 micrómetros o inferior es el mayor contaminante atmosférico y de los más nocivos para la salud. Este contaminante denominado como contaminante de criterio excedió el límite establecido por la norma ecuatoriana de calidad del aire durante casi todo el año, estableciéndose como un problema debido a los efectos perjudiciales a la salud (Hernández, Encalada, & Molina, 2010).

De la ciudad de Guayaquil no se tiene registro alguno de las emisiones de contaminantes debido a la falta de estaciones de monitoreo, sin embargo la WHO (en inglés, World Health Organization) mantiene una base de datos de emisiones de contaminantes, de otras ciudades importantes del país como Manta, Cuenca e Ibarra, entre otras (WHO, 2016), en el que se señala que en algunas ciudades de Ecuador se excede el límite considerado seguro por esta organización. Así mismo, el material particulado está compuesto por Carbono Negro (CN) el cual es considerado un contaminante de corta duración del grupo de los gases de efecto invernadero.

De esta manera, teniendo en cuenta que el país tiene un compromiso con la lucha contra el cambio climático y la reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos, se ha tomado como caso de estudio a la empresa de transporte EMOT (EMPRESA DE MOVILIDAD Y TRÁNSITO DE DURÁN), la cual regula el servicio de transporte público masivo entre los cantones Guayaquil y Durán, de la provincia del Guayas. Los vehículos del transporte público interno del parque automotor EMOT generan emisiones de dióxido

de carbono y material particulado desde su tubo de escape, las cuales son referentes medidos en todas las ciudades del mundo debido a que las mismas impactan negativamente a la salud, y, además, el carbono negro (parte del PM<sub>2.5</sub>) y el dióxido de carbono son responsables del calentamiento global.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> procedentes del tubo de escape de los vehículos del transporte urbano interno de Durán para el año 2017.

## **1.3 Justificación del problema**

El Ecuador cuenta con una cantidad mínima de investigaciones acerca de los efectos en la salud y la contaminación del aire que causan las emisiones, cabe recalcar que estos temas no han sido considerados en el desarrollo de programas de mejoramiento urbano. Además no se han realizado estudios epidemiológicos que relacionen calidad del aire con contaminantes.(Hernández et al., 2010)

En el año 2000 se realizó un estudio sobre el incremento de enfermedades respiratorias en escolares de Quito, por contaminación del aire por fuentes vehiculares cuyos resultados determinaron que los niños que estudiaban en una zona urbana céntrica presentaron una media de carboxihemoglobina en el torrente sanguíneo que supera los límites establecidos como normales (COHB 5%), lo que indica que viven en una zona de alta contaminación y tienen un riesgo cuatro veces mayor de presentar infecciones respiratorias agudas altas (IRAA) que los niños de un sector urbano periférico (COHB 2,5%) o rural (COHB 0,7%), que tienen niveles más bajos de carboxihemoglobina.(Hernández et al., 2010)

Según La Organización Mundial de la Salud en relación a estudios sobre la exposición a material particulado igual o menor a 2,5 micrómetros, establece que valores entre 3-5 µg/m<sup>3</sup> tanto para exposiciones de larga como de corta duración podrían producir efectos adversos para la salud como problemas respiratorios o cardiovasculares, estableciendo como límite superior para el periodo anual un valor igual a 10 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>2.5</sub>.(OMS, 2005). Cabe recalcar el énfasis que se hace en estas partículas ya que debido a su

tamaño son capaces de penetrar hasta los alveolos pulmonares causando graves complicaciones en la salud. Este trabajo se centrará en las emisiones de buses que utilizan diésel premium como combustible, ya que este combustible contribuye con una mayor emisión de material particulado de menor tamaño, que la de los vehículos con motor a gasolina.(Linares & Díaz, 2009)

El dióxido de carbono es emitido por industrias y por vehículos como parte de la quema del combustible fósil, por lo que la Unión Europea se ha propuesto reducir sus emisiones en un 20% hasta el 2020 en base a los registros de 1990, de esta manera contribuyendo en la reducción de la contaminación ambiental y las consecuencias del cambio climático.(Sundblad, Biel, & Gärling, 2014).

Es así como la razón principal de realización de este proyecto es estimar las emisiones de PM<sub>2.5</sub> y CO<sub>2</sub> a través de un inventario de emisiones para establecer la existencia de una contaminación atmosférica por sobre los límites establecidos de las normativas que pueda ser causante de efectos adversos para la salud. El CO<sub>2</sub> a pesar de no ser un contaminante y no producir efectos adversos a la salud humana como el PM<sub>2.5</sub>, es importante como gas efecto invernadero precursor del cambio climático.

### **1.3.1 Objetivos Específicos**

- 1) Establecer la actividad vehicular, calidad del combustible fósil y características del parque automotor de Durán para el año 2017.
- 2) Calibrar el modelo COPERT de la EEA (en inglés, European Environment Agency) para ser usado para estimar emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> del transporte urbano en la costa ecuatoriana.
- 3) Evaluar el aporte de contaminantes por emisiones vehiculares del parque automotor de Durán per cápita con respecto a Ecuador.
- 4) Comparar los valores obtenidos de emisiones vehiculares del transporte urbano de Durán per cápita con respecto a los reportados en la Tercera Comunicación Nacional del Ecuador sobre el Cambio Climático.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 La Contaminación**

Se llama contaminación a cualquier sustancia presente en el medio ambiente en concentraciones y tiempo de permanencia, tal que, desde el momento de su emisión y el punto final de su eliminación, puede conllevar a riesgos para la salud y daños al medio ambiente, causando condiciones negativas para la vida humana, y cuyos efectos son medibles y trazables (Registro oficial de Ecuador, 2015); (Jeremy Colls, 2010); (Stephen T. Holgate, Hillel S. Koren, Jonathan M. Samet, 1999); (Agarwal, 2009).

La contaminación atmosférica es la presencia de uno o más contaminantes en el aire en cantidades que sobrepasan los valores acostumbrados. Esos contaminantes tienen características y tiempo de permanencia en el aire, de manera tal que alteran la composición natural de la atmósfera pudiendo causar daño a la salud y al medio ambiente, e interfieren con el confort de los seres humanos (Rao, 1989).

Los contaminantes se pueden clasificar en contaminantes primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son aquellos que son emitidos de manera directa en el aire por fuentes, pueden tener efectos directos como también pueden ser precursores de contaminantes secundarios del aire, los cuales son químicos formados a través de reacciones en la atmósfera (Driscoll et al., 2012).

### **1.4.2 Contaminantes de Criterio**

Los contaminantes de criterio son los más comunes y estudiados, y a partir de ellos se puede establecer un criterio para definir una norma sobre su concentración. Para estos contaminantes se les ha establecido límites máximos permisibles de concentración en el aire con el objetivo de preservar la salud humana y el medio ambiente (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2017).

Los contaminantes de criterio son:

- i. Material Particulado (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>)
- ii. Monóxido de carbono (CO)
- iii. Ozono (O<sub>3</sub>)

- iv. Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- v. Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

#### **1.4.2.1 Material Particulado (PM)**

El material particulado atmosférico se define como un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura en condiciones normales) presentes en suspensión en la atmósfera (Mészáros, 1999), las cuales contienen una mezcla de químicos y físicos (sólidos, líquidos) que pueden ser dañinos para salud y el medioambiente. (CAFE, 2004)

El PM<sub>10</sub> posee un diámetro aerodinámico menor que 10 micrómetros (µm) y es conocida como partículas de fracción gruesa, no permanecen en el aire por mucho tiempo y su impacto es limitado debido a que tienden a depositarse en el suelo lejos de las fuentes de emisiones. Estas partículas no son fácilmente transportadas ya que tienen dificultades para permanecer suspendidas en el aire y se depositan por deposición seca o húmeda (US EPA, 2011).

El PM<sub>2.5</sub> posee un diámetro aerodinámico menor que 2.5 micrómetros (µm), estas partículas de fracción fina pueden permanecer en el aire durante largos periodos y viajar cientos de kilómetros. Las mismas son producto de la quema de combustibles fósiles, materia orgánica, y la quema de otros materiales como el plástico o caucho, sin embargo, las emisiones de los motores de vehículos y plantas de energía son las mayores fuentes de emisiones de partículas finas. (CAFE, 2004).

#### **1.4.2.2 Monóxido de Carbono (CO)**

El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles (Tobergte & Curtis, 2013), es un gas que se forma cuando se produce la quema de combustibles de carbono y estos no se queman por completo. Las fuentes móviles representan la mayor cantidad de emisiones de CO. Las altas concentraciones de CO generalmente se encuentran en zonas con gran congestión de tráfico, siendo así que de acuerdo con estudios realizados de la US EPA en 2008, en las ciudades, el 95% de las emisiones de CO provienen de los tubos de escape de vehículos motorizados. (US EPA, 2008a)

### **1.4.2.3 Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**

El dióxido de carbono es uno de los gases no contaminante que atrapan calor en la atmósfera y más conocido como gases de efecto invernadero. Este gas es producido por fuentes móviles a medida que se queman los combustibles, se emite directamente a través de la combustión de combustibles en diferentes equipos móviles. Las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con la combustión de combustible se ven relacionadas con el volumen de combustible quemado, la densidad del combustible, el carbono contenido en el combustible y la fracción de carbono que se oxida a CO<sub>2</sub>.(US EPA, 2008a)

### **1.4.2.4 Carbono Negro**

El Carbono Negro (CN) es el material particulado que forma parte de uno de los contaminantes de criterio como lo es el PM<sub>2.5</sub>, el CN es emitido en su mayoría debido a la quema de combustibles fósiles, de una manera más específica se origina por la combustión incompleta de motores a diésel. Las más grandes fuentes de emisión en Europa y Norte América son los hogares que queman combustible sólido para calefacción y los motores a diésel que son usados en el sector de transporte. El CN se origina debido a la falta de oxígeno o por la operación a bajas temperaturas, es por esta razón que el carbono en el combustible en lugar de convertirse en CO<sub>2</sub> se convierte en CN (Finnish Meteorological Institute (FMI), University of Helsinki (UHEL), Finnish Environment Institute (SYKE), Helsinki & International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, 2013); (WLPGA, 2010).

### **1.4.2.5 NO<sub>x</sub>**

Los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) es el término usado para la descripción de la suma de óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y otros óxidos de nitrógeno. La mayor parte de NO<sub>x</sub> en el aire proviene de la combustión de combustibles fósiles de fuentes móviles (US EPA, 2015). El NO<sub>x</sub> es de gran importancia debido a su vinculación con varios problemas ambientales, como la deposición acida, la formación de material particulado, el decrecimiento de visibilidad, el cambio climático y son precursores del ozono troposférico .(US EPA, 2015)

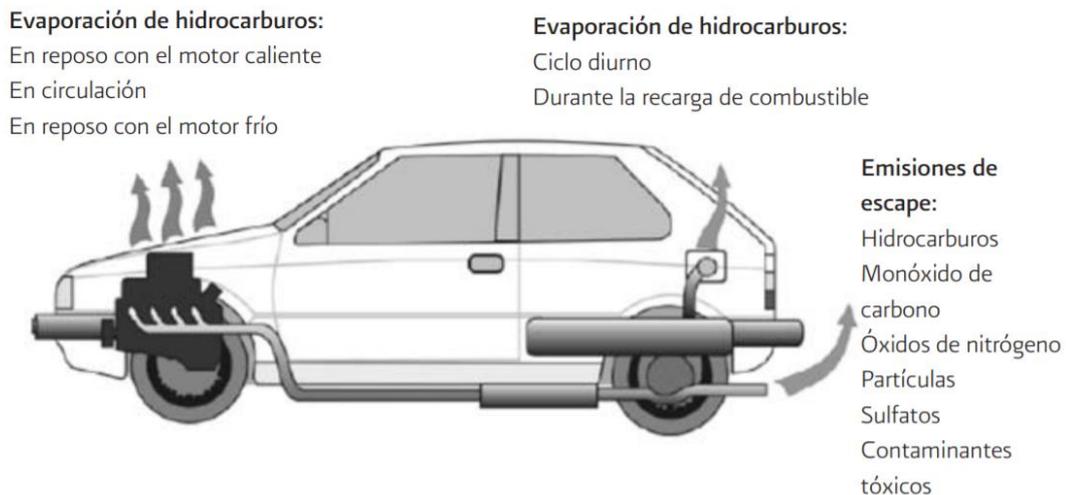
#### **1.4.2.6 Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)**

El dióxido de azufre es un gas que pertenece a la familia de gases de óxido de azufre (SO<sub>x</sub>). La formación de este gas se da cuando el combustible que contiene azufre se quema. Las altas concentraciones de este se encuentran asociadas con la generación de problemas de salud y efectos ambientales. Las emisiones de SO<sub>2</sub> son un importante precursor a las concentraciones ambientales de PM<sub>2.5</sub> debido a que reacciona con otros contaminantes para formar partículas de sulfato que son constituyentes de las partículas finas.(US EPA, 2008b). Es emitido por plantas termoeléctricas que usan carbón o combustóleo con alto contenido de azufre, y también por las fuentes de combustión que dependen del contenido de azufre en el combustible usado. (Tobergte & Curtis, 2013)

#### **1.4.3 Emisiones vehiculares**

Las emisiones vehiculares provienen de diferentes partes del vehículo (ver Figura 1.1):

- i. Emisiones por el tubo de escape:** Las emisiones que se generan por el tubo de escape cuando se produce la combustión se ve comprendida por contaminantes como el monóxido y dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, material particulado entre otros componentes que son liberados en el proceso de combustión. Estas emisiones dependen de características y del estado del vehículo, tomando en consideración la tecnología y el sistema de control de las emisiones, la potencia del vehículo, la operación de este ya sea su rapidez y la aceleración, el tipo de combustible que utiliza, el mantenimiento del vehículo.



**Figura 1.1 Procesos de emisión de los vehículos**

Fuente: (SEMARNAT-INE-WGA, 2009)

- ii. **Emisiones Evaporativas:** Emisiones de carácter evaporativas son aquellas que se efectúan tanto cuando el vehículo está estacionado como cuando está en operación normal; su magnitud está en función de las características y condiciones en las que se encuentra el vehículo y se ve influenciado por factores geográficos y meteorológicos entre ellos la altura y la temperatura del ambiente en el que se encuentra el vehículo. Uno de los principales factores que conllevan a las emisiones es la presión de vapor del combustible utilizado. Las emisiones evaporativas pueden darse en diferentes condiciones, entre ellas:
- iii. **Emisiones diurnas:** se originan en el sistema de combustible integrado en el vehículo y esto depende de la temperatura del ambiente en el que se encuentra el vehículo.
- iv. **Emisiones que se producen con el vehículo recién apagado y el motor caliente:** estas emisiones se dan debido a la volatilización del combustible en función de su calor residual.
- v. **Emisiones evaporativas en operación normal del vehículo:** Se presentan cuando el vehículo está en circulación

- vi. **Emisiones evaporativas que ocurren cuando el vehículo está en reposo con el motor frío:** esta se da debido a la permeabilidad de los componentes que conforman el sistema de combustible.
- vii. **Emisiones evaporativas que se originan cuando se carga combustible:** Durante el proceso de carga de combustible se producen fugas de vapores y son tratadas como fuentes de área en un inventario de emisiones.(SEMARNAT-INE-WGA, 2009)

#### **1.4.4 Controles de emisiones**

Los vehículos a motor son la mayor fuente de contaminación atmosférica urbana, regional y a escalas nacionales. Se han establecido programas para el control de sus emisiones los cuales han dado como resultado mejoras en la ingeniería y el diseño de sistemas de control de emisiones.(National Research Council, Division on Earth and Life Studies, Transportation Research Board, Board on Environmental Studies and Toxicology, 2001)

##### **1.4.4.1 Mantenimiento del vehículo**

Existen programas de Inspección y Mantenimiento (I/M) que han sido instituidos en muchas normativas para asegurarse de que se lleven a cabo los controles de manera adecuada a lo largo de la vida del vehículo. El I/M incluye una inspección visual de los componentes que se controlan en las emisiones evaporativas y exhaustivas. La US EPA ha desarrollado responsabilidad por estos programas de I/M para que sean implementados. Sin embargo, no han tenido la efectividad deseada.(National Research Council, Division on Earth and Life Studies, Transportation Research Board, Board on Environmental Studies and Toxicology, 2001)

Es importante considerar el mantenimiento de los vehículos ya que, de acuerdo con evaluaciones realizadas, se ha encontrado que cuando una pequeña fracción de una flota de vehículos se encuentra en mal funcionamiento, ésta contribuye de manera sustancial al total de emisiones generadas por esta flota de vehículos. En una aproximación menos del 10% de vehículos en que se encuentre en mal estado de la flota, contribuye con más del 50% de emisiones para cualquier contaminante.(National

Research Council, Division on Earth and Life Studies, Transportation Research Board, Board on Environmental Studies and Toxicology, 2001)

#### **1.4.4.2 Año-modelo del vehículo**

La relación de año y modelo del vehículo es importante debido a que el año modelo de los vehículos nos indica indirectamente el potencial de generación de emisiones con respecto a la edad, las emisiones del vehículo se ven regidas por las normativas, las cuales son establecidas de acuerdo con el tipo de vehículo y el año de producción.(SEDEMA, 2016)

Existen factores dependientes del año del vehículo que pueden ser causantes de un aumento en las emisiones generadas, entre ellos, la acumulación de kilometraje del vehículo, los parámetros del vehículo (peso, desplazamiento del motor, entre otros). (Office of mobile source air pollution control, 1983)

#### **1.4.4.3 Dispositivos de control de emisiones**

Desde 1963 hasta el presente, se ha hecho un gran avance con los sistemas de control de emisiones, se ha logrado reducir más de un 80% de las emisiones generadas, gracias a dispositivos que facilitan el control de emisiones como convertidores catalíticos, los reactores y recirculadores que actúan sobre el sistema de escape. (Billiet, 1979)

#### **1.4.4.4 Sistema catalizador de emisiones de gases**

Este sistema consiste en un conjunto de elementos que permite la catálisis de los gases producidos por la combustión en los motores, para conseguir su reducción y transformación en gases con menor efecto contaminante. Este convertidor catalítico consiste en un espacio aislado que contiene gránulos aglutinantes por los cuales pasan los gases para su filtración. El CO y los hidrocarburos pasan por este sistema y son convertidos en CO<sub>2</sub> y vapor de agua antes de salir por el tubo de escape.(Picabea, 2010).

#### **1.4.5 Inventario De Emisiones**

Un inventario de emisiones consiste en la identificación y registro de los contaminantes emitidos por diferentes fuentes ya sean estas fijas o móviles la cuales son emitidas al aire en tiempos determinados. El estudio es realizado para áreas limitadas. (La

documentación generada con el inventario de emisiones es de mucha utilidad ya que las tablas del inventario de emisiones sirven como directrices para identificar la fuente y así tomar acciones correctivas y de control a fin de reducir la contaminación, acciones que son gestionadas por las agencias de control de planificación y de zonificación de los gobiernos locales. Los datos generados en un inventario de emisiones pueden ser usados mediante modelo matemático con el objetivo de conocer el nivel de control necesario para el cumplimiento de estándares de regulación de la calidad del aire. El método para desarrollar un inventario de emisiones haciendo uso de un método indirecto y no de medición está sujeto a errores mientras que los métodos directos de medición de contaminantes emitidos por la fuente o los niveles de contaminantes presentes en el aire son muy costosos. (Vallero, 2014)

Diferentes entes a nivel internacional han propuesto metodologías para estimar las emisiones desde diferentes tipos de fuentes.

#### **1.4.5.1 Fuentes Fijas**

Las fuentes fijas son aquellas que se encuentran establecidas en un lugar determinado e inamovible aun cuando la descarga de contaminantes se produzca de forma dispersa. Las mismas tienen como finalidad el desarrollo de operaciones o procesos industriales, comerciales o servicios, que emiten o pueden emitir contaminantes al aire a causa del proceso de combustión desde un lugar fijo.(Hernández et al., 2010)(Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2017).

#### **1.4.5.2 Fuentes Móviles**

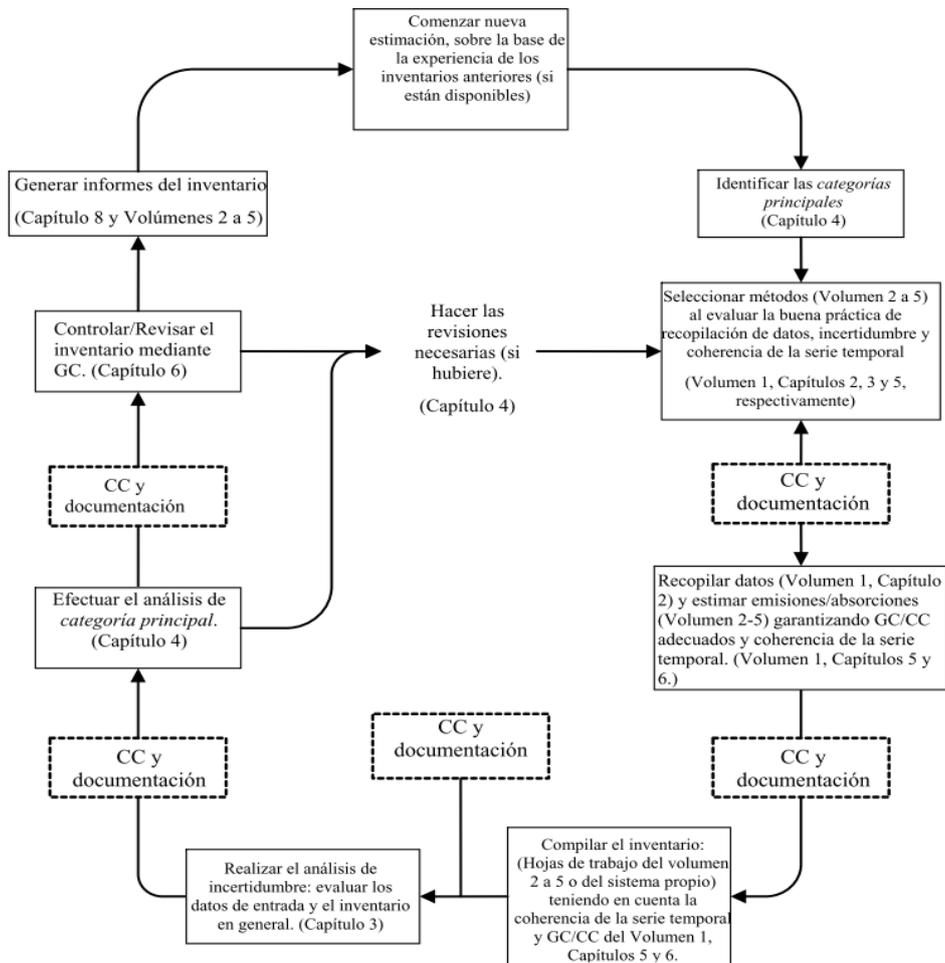
Las fuentes móviles son aquellas que se pueden desplazar en forma autónoma, emitiendo contaminantes a través de su trayectoria. En este tipo de fuentes se toma en consideración cualquier máquina, aparato o dispositivo que emite contaminantes a la atmósfera y no tienen un lugar fijo. (Hernández et al., 2010)(Calla, 2017)

#### **1.4.5.3 Metodología IPCC para Inventarios de Emisiones**

El IPCC (en inglés, Intergovernmental Panel On Climate Change) en el quinto informe de evaluación “AR5”(en inglés, Fifth Assessment Report) finalizado en el año 2014, detalla de manera explícita lineamiento a seguir para la elaboración de informes y

metodología de cálculo pertinente a inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero con el nombre de “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero”, con lo cual según la IPCC busca ayudar a las partes de la CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático ) y protocolo de Kyoto. (“IPCC”, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018)

La IPCC entre sus directrices para la elaboración de un inventario de emisiones ha dispuesto tres metodologías las cuales están estrictamente relacionadas a la necesidad de la precisión de los datos a obtener en la estimación ya que la complejidad de esta varía de manera considerable, categorizándolo como nivel 1, nivel 2 y nivel 3 siendo el nivel 3 el más alto en complejidad ya que requiere datos de mayor complejidad de obtención, el desarrollo de un inventario de emisiones inicia con la captación de datos pertinente establecidos en el volumen 1 capítulo 2 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero en el cual se detalla el método aplicable, la evaluación de la incertidumbre precede a la captación de dato siendo necesario el registro de la exactitud del valor de la variable ya que esta tendrá incidencia directa en el resultado obtenido, posterior a ello se realiza la sección de la metodología de acuerdo al alcance establecido, el desarrollo de un inventario de emisiones debe constar con coherencia temporal lo cual establece la necesidad de mantener la metodología y la fuente de datos evitando se produzca un sesgo en la estimación, en función de buenas prácticas y ética profesional es necesario llevar control de calidad para así garantizar los resultados de nuestra estimación, para finalizar se emite un informe los cuales son orientados con el uso cuadros proporcionado por la IPCC basada en la metodología descrita, como se observa en la Figura 1.2 (Rypdal & Paciornik, 2006).



**Figura 1.2 Ciclo de desarrollo de un inventario de emisiones.**

Fuente: (Rypdal & Paciorek, 2006)

#### 1.4.5.4 Preparación de Inventario de Emisiones Propuesta por IPCC

En los inventarios de emisiones deben ser reportados solo los contaminantes que están siendo objeto de estudio y restringido a las emisiones al aire, el desarrollo de estos se da en gran medida mediante la aplicación de factores de emisión a volumen o tasas de producción en masa, siendo este un método indirecto de estimación y con bajo costo de implementación.

El protocolo de la US EPA, con fecha de noviembre 1995, titulado Protocolo de 1995 para Estimaciones de emisiones con pérdida de equipo (EPA-453 / R-95-017, "El Protocolo de la EPA 1995 ") detalla los siguientes métodos para estimación de emisiones. Método 1: Emisión promedio Método del factor; Método 2: valor de detección Método de

rango; Método 3: ecuación de correlación Método; y Método 4: La correlación específica de la unidad Método de ecuación En general.

Es importante considerar que la implementación de un método con mayor fiabilidad de resultados requiere mayor cantidad de datos, pero presenta alto costo de implementación. (Cheremisinoff, 2011)

#### **1.4.5.5 Metodología del IPCC para Fuentes Móviles**

El desarrollo de un inventario de emisiones de fuentes móviles se realiza en dos etapas o procesos en el cual el primero consiste en establecer un conjunto de factores de emisión lo cual describe la tasa de emisión por unidad de actividad y esta es aplicada tanto a la actividad del motor o al sistema completo, estos factores son determinados en condiciones establecidas y controladas usualmente en laboratorios en cuyos análisis se intentan generar condiciones reales experimentadas por el vehículo en la calle, estos factores también pueden ser determinados mediante medición directa usando instrumentación. El segundo paso en el proceso implica la determinación de una estimación de vehículo y / o actividad. Estos datos de actividad pueden derivarse de contadores tradicionales o modelos de transporte. Al igual que con la medición de emisiones a bordo, los datos de las encuestas de tráfico son más deseables, ya que brindan información sobre patrones de tráfico reales, la generación de los modelos existentes en la actualidad son muy detallados además son capaces de simular dominios urbanos completos.(Reynolds & Broderick, 2000)

#### **1.4.5.6 Metodología para Estimación de Emisiones Propuesto por la US EPA**

La US EPA ha desarrollado como herramienta el software MOVES, el cual tiene como función obtener datos de estimación de emisiones mediante un algoritmo que solicita variables de ingreso tanto de actividad como de características del vehículo entre otras; en el caso de estimaciones de fuentes vehiculares. El software MOVES de la US EPA en su última versión entregada en el 2014, se encuentra la incorporación de nuevas variables de ingreso que aumenta la flexibilidad y fiabilidad de los resultados entregados, entre ellas la especificación de eventos diurnos en la estimación de emisiones de

carácter evaporativas, la especificación de la actividad inactiva extendida, entre otras.(US EPA, 2014)

El software MOVES ofrece el modelado para emisiones de fuentes móviles correspondiente a contaminantes de criterio, gases de efecto invernadero y tóxicos del aire, además fue incorporado en su última actualización la capacidad de estimar emisiones fuera de carretera mediante el modelo NONROAD2008.(U.S. EPA, 2014)

El algoritmo que realiza las estimaciones en el software MOVES utiliza base de datos en información precargada a nivel nacional para los Estados Unidos de Norte América y es un software específicamente para estimación de fuentes vehiculares. La US EPA pretende cubrir con el desarrollo en su versión final con las funciones hoy encontradas en el modelo NONROAD y MOBILE.(INECC, 2008)

**Tabla 1.1 Contaminantes que permite estimar el modelo MOVES**

Contaminantes			Descripción
MOVES 2004*	MOVES 2004*	MOVES 2004*	
<b>N<sub>2</sub>O</b>	N <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
<b>CH<sub>4</sub></b>	CH <sub>5</sub>	CH <sub>6</sub>	Metano
<b>CO<sub>2</sub></b>	CO <sub>3</sub>	CO <sub>4</sub>	Dióxido de carbono
	HC	HC	Hidrocarburos
	CO	CO	Monóxido de carbono
	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
	PM	PM	Material particulado
		SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre
		NH <sub>3</sub>	Amoniaco
		Contaminantes tóxicos	

*Fuente:(INECC, 2008)*

**Tabla 1.2 Insumos requeridos como variables de entrada en el modelo MOVES**

<b>Insumo</b>	<b>Insumo</b>
<b>Año calendario base</b>	Crecimiento promedio de la flota vehicular del año base al año de análisis. Esto sólo aplica si el año base es un año futuro
<b>Mes</b>	Distribución de kilómetros recorridos por tipo de vehículo, tipo de vía, Año modelo y hora del día
<b>Temperatura ambiente</b>	Distribución de rapidez promedio por hora y tipo de vía
<b>Humedad relativa</b>	Distribución del número de arranques del vehículo, por tipo de vehículo, año modelo y hora del día
<b>Formulación del combustible (presión de vapor, contenido de azufre, contenido de oxigenantes, entre otros)</b>	Tiempo de reposo del vehículo, por tipo de vehículo, año modelo y hora del día
<b>Población vehicular por tipo y año modelo para el año base</b>	Descripción del programa de inspección y mantenimiento

Fuente:(INECC, 2008)

#### **1.4.5.7 Metodología Utilizada para Estimación de Emisiones Mediante el Modelo COPERT**

El modelo COPERT de la EEA fue desarrollado como herramienta para la estimación de emisiones vehiculares ya sea en actividad o fuera de camino permitiendo la estimación de emisiones producidas por vehículos que desempeñan diferentes actividades como agrícola, domestico, industrial, silvicultura, ferrocarriles e incluso barcos; cabe recalcar que el modelo COPERT solo puede ser utilizado para estimar emisiones provenientes de vehículos que han sido fabricados bajo legislación europea. La metodología que utiliza el modelo COPERT compila inventarios nacionales y puede ser utilizado también para inventarios urbanos.(INECC, 2008)

**Tabla 1.3 Categoría vehicular en el modelo COPERT**

<b>Categoría vehicular</b>	<b>Descripción</b>
<b>Vehículos de pasajero</b>	Vehículos para el transporte de pasajeros que no poseen más de 8 asientos en adición al del conductor
<b>Vehículos ligeros</b>	Vehículos para el transporte de bienes y con un peso no mayor a 3,5 toneladas
<b>Vehículos pesados</b>	Vehículos para el transporte de bienes y con un peso mayor a 3,5 toneladas
<b>Autobuses urbanos</b>	Vehículos para el transporte de pasajeros, con más de 8 asientos en adición al del conductor
<b>Motonetas</b>	Vehículos de 2 o 3 rudas con motor de más de 50 cc y diseñado para no exceder una rapidez de 40 km/h
<b>Motocicletas</b>	Vehículos de 2 o 3 rudas con motor de más de 50 cc y diseñado para correr a una rapidez superior a 40 km/h

Fuente:(INECC, 2008)

**Tabla 1.4 Contaminantes estimados en el modelo COPERT**

<b>Contaminante</b>	<b>Descripción</b>
<b>COV</b>	Compuestos orgánicos volátiles
<b>CO</b>	Monóxido de carbono
<b>NO<sub>x</sub></b>	Óxidos de nitrógeno
<b>PM</b>	Material particulado
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Óxido nitroso
<b>NH<sub>3</sub></b>	Amoniaco
<b>SO<sub>2</sub></b>	Dióxido de azufre
<b>HAP</b>	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
<b>COP</b>	Compuestos Orgánicos Persistentes
<b>Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Se y Zn</b>	Metales pesados: plomo, cadmio, cromo, cobre, níquel, selenio, y zinc, respectivamente

Fuentes:(INECC, 2008)

#### **1.4.5.8 Factor de emisión**

El factor de emisión es un coeficiente que correlaciona la actividad que está en análisis con la cantidad de combustible o sustancia química que está siendo fuente de las emisiones. Los factores de emisiones son fundamentados en datos registrados de mediciones con la actividad de manera promedia, generando un coeficiente de cada actividad en particular logrando establecerse como un factor en condiciones establecidas y tabuladas facilitándonos la aplicación del método para estimación de emisiones (Directrices del IPCC, 1996).

La EEA (en inglés, European Environment Agency) proporciona una base de datos con factores de emisión en función de la naturaleza de la actividad, una vez seleccionada la actividad es pertinente establecer el tipo de vehículo, de combustible, el nivel de estimación que requerimos calcular y la norma bajo la cual ha sido construidos. Además, es importante conocer que para el caso particular del dióxido de carbono los factores de emisión se encuentran calculados en función del contenido de carbono combustible y representan la oxidación total del mismo. Como parte del aseguramiento de la calidad los encargados de compilar datos deben asegurar que los factores tomados son los adecuados en base a los parámetros mencionados.(Davies, Waldron.; Harnisch, Jochen.; Lucon, Oswaldo.; Mckibbon, Scott.; Saile, Sharon.; Wagner, Fabian y Walsh, 2006)

**Tabla 1.5 Factores de emisión para buses construidos bajo la norma EURO II Y III a Diésel**

<b>NFR</b>	<b>Sector</b>	<b>Table</b>	<b>Type</b>	<b>Tecnology</b>	<b>Fuel</b>	<b>Abatement</b>	<b>Pollutant</b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>	<b>Reference</b>
<b>1.A.3, b, i</b>	Road transport passenger cars	Table_3-18_50	Tier 2 emission factor	Passenger cars	Diésel	Diésel Small - Euro 6 2017 - 2019	PM 2,5	0,0015	g/kg	Calculate using tier 3 method assuming TPS=PM <sub>10</sub> =PM <sub>2.5</sub>
<b>1.A.3, b, i</b>	Road transport passenger cars	Table_3-18_64	Tier 2 emission factor	Passenger cars	Diésel	Diésel Large - SUV-executive -Euro 3 - 98/69/EC1	PM 2,5	0,0391	g/kg	Calculate using tier 3 method assuming TPS=PM <sub>10</sub> =PM <sub>2.6</sub>
<b>1.A.3, b, i</b>	Road transport passenger cars	Table_3-18_63	Tier 2 emission factor	Passenger cars	Diésel	Diésel Large - SUV-executive -Euro 2 - 94/12/EEC	PM 2,5	0,0548	g/kg	Calculate using tier 3 method assuming TPS=PM <sub>10</sub> =PM <sub>2.7</sub>
<b>1.A.3, b, i</b>	Road transport passenger cars	Table_3-18_63	Tier 2 emission factor	Passenger cars	Diésel	Diésel Large - SUV-executive -Euro 2 - 94/12/EEC	CO <sub>2</sub>	0,53	g/kg	Calculate using tier 3 method
<b>1.A.3, b, i</b>	Road transport passenger cars	Table_3-18_54	Tier 2 emission factor	Passenger cars	Diésel	Diésel Medium - Euro 2 - 94/12/EEC	PM <sub>2.5</sub>	0,0548	g/kg	Calculate using tier 3 method assuming TPS=PM <sub>10</sub> =PM <sub>2.7</sub>
<b>1.A.3, b, i</b>	Road transport passenger cars	Table_3-18_54	Tier 2 emission factor	Passenger cars	Diésel	Diésel Medium - Euro 2 - 94/12/EEC	CO <sub>2</sub>	0,53	g/kg	Calculate using tier 3 method
<b>1.A.3, b, i</b>	Road transport passenger cars	Table_3-18_61	Tier 2 emission factor	Passenger cars	Diésel	Diésel Large - SUV-executive - convencional	CO <sub>2</sub>	0,663	g/kg	Calculate using tier 3 method

Fuente: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Emission Factor

#### **1.4.5.9 Factor Emisión IPCC**

La IPCC como parte de la metodología propuesta para la elaboración de un inventario de emisiones, dispone de una base de datos cargada en un software y en la página oficial de la IPCC la cual nos facilita el cálculo del factor de emisión, el uso de esta se basa en criterios ingresados, tales como, la versión de las directrices usadas para el inventario de emisiones para este caso, en el año 2006, la categoría en la que se encuentra la fuente de emisión que se está calculando para este caso se establece como categoría de energía y se establece como filtro actividades de quema de combustibles y transporte de carretera, el combustible usado por el vehículo en este caso es diésel. Además se deben seleccionar los contaminantes para los cuales se desea obtener el factor de emisión, con ello el software entrega como resultados el factor de emisión , la unidad de medida sea esta en g/MJ, g/km o g/Kg de combustible, el ID del factor de emisión y datos de la fuente donde se encuentra el dato siendo estas las tablas existentes en las directrices para la elaboración de inventario de emisiones propuesta por la IPCC.(IPCC, 2017)

**Tabla 1.6 Factor de emisión base de datos IPCC**

EF ID	Gas	IPCC 1996	IPCC 2006	Description	Technologies / Practices	Value	Unit	Data provider
19224	CARBON DIOXIDE	1A3b - Road Transportation	1.A.3.b - Road Transportation	Estimated emission factors for European Diésel Passenger Cars	Moderate Control	3140	g/kg fuel	IPCC
19223	CARBON DIOXIDE	1A3b - Road Transportation	1.A.3.b - Road Transportation	Estimated emission factors for European Diésel Passenger Cars	Moderate Control	190	g/km	IPCC
19261	CARBON DIOXIDE	1A3b - Road Transportation	1.A.3.b - Road Transportation	Estimated emission factors for European Diésel Heavy-Duty Vehicles	Moderate Control	74	g/MJ	IPCC
19259	CARBON DIOXIDE	1A3b - Road Transportation	1.A.3.b - Road Transportation	Estimated emission factors for European Diésel Heavy-Duty Vehicles	Moderate Control	770	g/km	IPCC
19260	CARBON DIOXIDE	1A3b - Road Transportation	1.A.3.b - Road Transportation	Estimated emission factors for European Diésel Heavy-Duty Vehicles	Moderate Control	3140	g/kg fuel	IPCC
19241	CARBON DIOXIDE	1A3b - Road Transportation	1.A.3.b - Road Transportation	Estimated emission factors for European Diésel Light-Duty Vehicles	Moderate Control	280	g/km	IPCC
19242	CARBON DIOXIDE	1A3b - Road Transportation	1.A.3.b - Road Transportation	Estimated emission factors for European Diésel Light-Duty Vehicles	Moderate Control	3140	g/kg fuel	IPCC

Fuente:(IPCC, 2018)

### 1.4.5.10 Normativas

Existen normativas de la Unión Europea y de los USEPA, a través de las cuales se han definido límites máximos de emisión de contaminantes del aire como material particulado (PM), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) emitidos desde fuentes móviles como vehículos ligeros y pesados. (ICCT, 2014)

Aunque ambas normativas buscan la disminución de emisiones de contaminantes, estas difieren en la consideración de límites de emisiones de algunos contaminantes como el monóxido y dióxido de carbono, donde la EPA 2010 es más permisible en cuanto a las emisiones que la EURO VI, así de manera contraria la EURO VI es más permisible en cuanto a emisiones de NO<sub>x</sub> que la EPA 2010. A pesar de esto, ambas normas establecen el mismo límite máximo de emisión para el material particulado. (ICCT, 2014)

**Tabla 1.7 Normativas de emisión para motores de autobuses de la Unión Europea**

Norma Unión Europea					
ID Norma	Fecha	CO(g/km)	HTC(g/km)	NO <sub>2</sub> (g/km)	PM(g/km)
<b>Euro I</b>	1992	8,1	1,98	14,4	0,648
<b>Euro II</b>	1998	7,2	1,98	12,6	0,27
<b>Euro III</b>	2000	3,78	1,188	9	0,18
<b>Euro IV</b>	2005	2,7	0,828	6,3	0,036
<b>Euro V</b>	2008	2,7	0,828	3,6	0,036
<b>EEV</b>		2,7	0,45	3,6	0,036
<b>Euro VI</b>	2013	2,7	0,234	0,72	0,018

Fuente: (Lindqvist 2012)

Notas:

1) Con frecuencia las pruebas de emisiones convierten los resultados de g/kWh a g/Km. Nylund et al. (2004) utilizan el factor de conversión de 1,8 Km por g/kWh.

2)EEV representa una norma de emisiones voluntaria entre las normas Euro V y Euro VI (Diéselnet 2009).

**Tabla 1.8 Normativas de emisión para motores de autobuses de la US EPA**

Norma US EPA						
Año Norma	CO (g/km)	HTC (g/km)	HCNM (g/km)	HCNM + NO <sub>x</sub> (g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	PM (g/km)
<b>1994</b>	45,06	3,78			14,54	0,2
<b>1996</b>	45,06	3,78			11,63	0,15
<b>1998</b>	45,06	3,78			11,63	0,15
<b>2004 (1)</b>	45,06	3,78		6,98		0,03
<b>2005 (2)</b>	45,06	3,78	2,91	7,27		0,03
<b>2007</b>	45,06	3,78	0,41		3,92	0,03
<b>2010</b>	45,06	3,78	0,41		0,58	0,03

Fuente: Programa Cooperativo de Investigación sobre Transporte Público, 2011.

Notas: La EPA convierte g/bhp\*hr a g/mi usando 4,679 bhp\*hr por mi. 2004 (1) y 2005 (2) representan dos opciones distintas para el cumplimiento.

Es de importante consideración que las normas más actuales como la USEPA 2010 Y la EURO VI exigen la implementación de un filtro para las emisiones de partículas, siendo así que para el transporte urbano en el Ecuador solo se pueden implementar la USEPA94 y la EURO II, ya que no es obligatorio el uso de ese filtro (Seris, 2017).

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

El transporte urbano interno regulado por EMOT (EMPRESA DE MOVILIDAD Y TRÁNSITO DE DURÁN) desarrolla su actividad de transporte público masivo en el cantón Durán de la provincia del Guayas, con coordenadas 2° 9'59.26"S, 79°49'59.90"O. Según datos de la organización CLIMATE-DATA, el cantón Durán presentó una precipitación anual acumulada para el año 2017 de 929 mm. Presentándose el mes más seco en agosto con 0 mm y el mes con mayor precipitación en marzo con 237 mm. Cabe acotar que para el cantón Durán el mes más caluroso de ese año fue el mes de marzo con una media de temperatura de 27.1 °C. (Alexander Merkel, 2017)

Las actividades realizadas por la flota de buses de EMOT son desarrolladas en ambiente urbano en Durán, conociendo la premisa que las carreteras y calles por las que circulan los buses no presentan variaciones considerables de altura en la trayectoria cubierta en cuanto a pendientes se refiere.

Según cifras del INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo) la proyección del número de habitantes en la ciudad de Durán, según el índice de incremento de la población en base al censo del año 2010, para el año 2017, es aproximadamente 293.005 habitantes. Esta cantidad de habitantes será usada en la estimación per cápita de emisiones de PM<sub>2.5</sub> y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la flota de transporte público pertenecientes al cantón Durán.

La metodología propuesta para la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> es la siguiente:

1. Establecer la categoría de los contaminantes según las directrices de la IPCC.
2. Selección del modelo o software de acuerdo con el criterio de la IPCC.
3. Nivel del método para la estimación de emisiones.

4. Determinación de las variables de ingreso solicitado por el modelo COPERT.
  - 4.1. Datos de actividad vehicular.
    - 4.1.1. Determinación del parque vehicular de la flota EMOT y normativa de emisión
    - 4.1.2. Determinación del kilometraje promedio recorrido en la vida útil de los vehículos.
    - 4.1.3. Determinación del tipo de carretera donde realiza la actividad.
    - 4.1.4. Determinación de distancias recorridas.
    - 4.1.5. Determinación de la rapidez de desplazamiento.
  - 4.2. Datos de combustible.
    - 4.2.1. Determinación del tipo de combustible y sus especificaciones.
    - 4.2.2. Obtención de datos de calidad del aceite lubricante.
  - 4.3. Datos de medio ambiente.
    - 4.3.1. Determinación de la temperatura mínima, temperatura máxima y humedad relativa del lugar donde se realiza la actividad.
  - 4.4. Factor de emisión.
    - 4.4.1. Usar factor de emisión por defecto.
    - 4.4.2. Usar factor de emisión según la actividad y país.
5. Calibración del modelo COPERT V.
  - 5.1. Pruebas de sensibilidad de variables.
6. Estimación de dióxido de carbono y PM<sub>2.5</sub> emitido por la flota de EMOT mediante el modelo COPERT V.

## **2.1 Establecer la categoría de los contaminantes según las directrices de la IPCC.**

Definir la categoría a la que pertenecen a la que pertenecen los contaminantes con los que se va a hacer el inventario de emisiones. Entre las categorías a seleccionar según IPCC (2006) basados en la naturaleza de la emisión están: energía, procesos industriales y uso de productos, agricultura y otros usos de la tierra, desechos.

En la categoría energía están: combustión estacionaria, combustión móvil, emisiones fugitivas, Transporte, inyección y almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>.

En la categoría combustión móvil están: transporte terrestre, transporte todo terreno, ferrocarriles, navegación marítima y fluvial, y aviación civil.

De este paso metodológico se obtendrá la categoría a trabajar, siendo esto considerado como una buena práctica garantizando la correcta ejecución de la metodología.

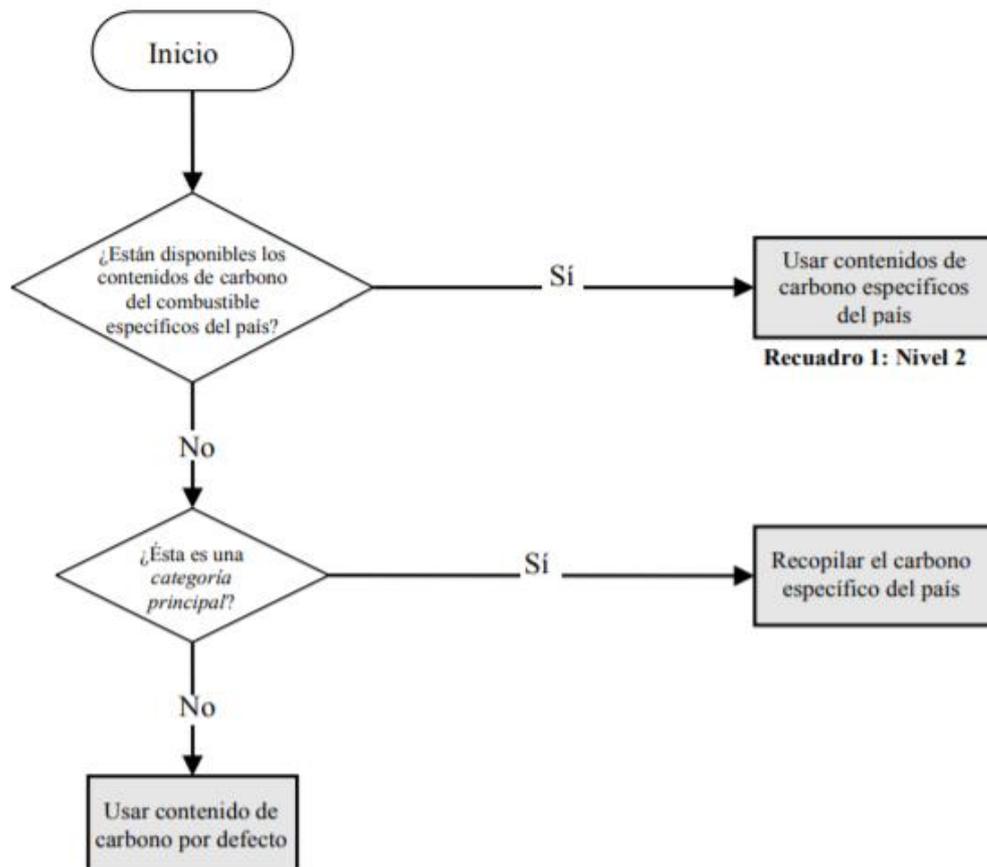
## **2.2 Selección del modelo de acuerdo con el criterio de la IPCC**

Para la estimación de las emisiones existen diferente software desarrollados en base a datos de actividad típico del país entre estos podemos mencionar los siguientes: COPERT V, MOVES, MOBILE 6, SMOKE, entre otros; la flota de buses de transporte público de EMOT obedece a normativas europeas respecto a marca y modelo en los buses registrados en el stock de buses de la empresa, basados en esta premisa se ha seleccionado el modelo COPERT V siendo este un modelo orientado a estimación de emisiones producidas por vehículos con tecnología europea.

## **2.3 Nivel del método para la estimación de emisiones**

Este paso metodológico (ver Figura 2.1), establece escoger el nivel de precisión de la metodología a usar en base a los datos disponibles y limitaciones particulares de cada contaminante.

Según las directrices de la IPCC indica que el análisis para cada contaminante emitido debe realizarse de manera independiente, estableciéndose 3 posibles niveles considerando la precisión requerida para los resultados y la cantidad de datos disponibles provenientes de fuentes confiables que garanticen la veracidad y fiabilidad de su uso.



**Figura 2.1** Árbol de decisión para las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la quema de combustible en los vehículos terrestres

Fuente: (Davies, Waldron.; Harnisch, Jochen.; Lucon, Oswald.; Mckibbon, Scott.; Saile, Sharon.; Wagner, Fabian y Walsh, 2006)

## 2.4 Determinación de las variables de ingreso solicitado por el modelo COPERT.

Se detallan todas las variables de entrada requeridas por el programa COPERT V y se indican cuáles se tienen y cuáles deben ser estimadas. En la Tabla 2.1 se muestran dicha lista, en rojo se resaltan las variables que no se tienen.

Así mismo se observa que el modelo COPERT V permite configurar el tipo de vehículos y su edad, el tipo de combustible y sus características, rapidez de operación, la distancia total recorrida, factores meteorológicos que podrían afectar y el contaminante a estimar.

**Tabla 2.1 Variables de entrada del modelo COPERT V**

Parámetro	Unidades	Definición
Flota vehicular	Adimensional	Carros de pasajeros Vehículos comerciales ligeros Camiones Pesados Buses Categoría L
Normativa	Adimensional	Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5, Euro 6, Euro I, Euro II, Euro III, Euro IV, Euro V, Euro VI  Se configura de acuerdo con el tipo de vehículo, año, modelo y tipo de combustible.
Stock	N	Cantidad de tipos de vehículos que se rigen bajo la misma normativa.
Actividad Promedio	km	Distancia recorrida promedio del vehículo anualmente
Actividad acumulada de vida	km	Kilometraje total del vehículo a lo largo de su vida útil.
Tipo de carretera	%	Urban peak Urban off peak Rural Highway
Rapidez promedio	km/h	Rapidez promedio dependiendo del tipo de carretera. Rapidez min-máx establecida para buses 11-86 Km/h
Tipo de combustible	Adimensional	Petróleo Grado 1 Petróleo Grado 2 Diésel Grado 1 Diésel Grado 2 GLP Grado 1 GLP Grado 2 CNG Biodiésel Bioetanol H <sub>2</sub>
Especificaciones del combustible	MJ/kg kg/m <sup>3</sup>	Contenido de energía Proporción H:C Proporción O:C

**Tabla 2.2 Variables de entrada del modelo COPERT V**

		Densidad
Contenido en especies del combustible	ppm	Azufre Plomo Cadmio Cobre Cromo Níquel Selenio Zinc Mercurio Arsenio
Consumo de combustible	TJ	Consumo total de combustible de la flota vehicular anualmente.
Tipo de Lubricante	Adimensional	Type 1
Contenido en especies del lubricante	Ppm	Azufre Plomo Cadmio Cobre Cromo Níquel Selenio Zinc Mercurio Arsenio
Especificaciones del lubricante	Adimensional	Proporción H:C Proporción O:C
Temperatura mínima	°C	Temperatura mínima mensual de la zona.
Temperatura máxima	°C	Temperatura máxima mensual de la zona.
Humedad Relativa	%	La humedad relativa es el porcentaje de saturación de un volumen específico de aire a una temperatura específica

Fuente: COPERT V

## **2.4.1 Datos de actividad vehicular**

### **2.4.1.1 Determinación del parque vehicular de la flota EMOT y normativa de emisión.**

Los funcionarios de EMOT facilitaron la información de los vehículos en los que corresponde el año de compra, fabricante, modelo y tipo de combustible de cada autobús de la flota EMOT. Con los datos suministrados se procede a la investigación de los fabricantes, las características de cada uno de los autobuses de la flota EMOT y se identifica la normativa de emisión que rige a cada vehículo.

La flota del parque vehicular EMOT se realiza en gran mayoría por ser conformada por vehículos de procedencia europea y unos cuantos, de origen asiático, por lo que sus vehículos de transporte cumplen normativas de emisión de la Unión Europea, las cuales se encuentran vigentes en el modelo COPERT V.

### **2.4.1.2 Determinación del kilometraje promedio recorrido en la vida útil de los vehículos.**

El kilometraje total de vida de los vehículos perteneciente al transporte interno de Durán fue estimado a partir de los kilómetros recorridos en un día de actividad realizado en la ruta establecida, teniendo en cuenta que la actividad de la flota es de 365 días, siendo este un valor estimado fue necesario calibrarlo dentro de la ejecución del modelo a fin de determinar su incidencia en los resultados obtenidos.

### **2.4.1.3 Determinación del tipo de carretera donde realiza la actividad.**

Para determinar el tipo de carretera (urbana o rural) se procede a realizar la revisión visual de todas las rutas de la flota EMOT a través de la herramienta Google Earth, en la cual se ubica cada estación y, además, se hizo el seguimiento de la ruta de inicio hasta llegar a su destino.

### **2.4.1.4 Determinación de distancias recorridas.**

Los vehículos cuentan con rutas de la flota EMOT a cumplir diariamente, los cuales son controlados por puntos de control que se encuentran en cada estación. Estos puntos de control hacen seguimiento y proporcionan información con la que se determina la

distancia recorrida por cada vehículo en cada ruta. Con la obtención de la distancia, se determina la frecuencia con la que se realiza este recorrido diariamente de cada ruta para obtener la distancia mensual recorrida. La distancia anual se estima de la suma de las distancias mensuales.

#### **2.4.1.5 Determinación de la rapidez de desplazamiento.**

La información de la rapidez con la que circulan los vehículos se obtiene del rapidómetro del vehículo. La misma que es establecida para el tipo de carretera por donde circula el vehículo. COPERT V establece una rapidez mínima de 12 km/h y una rapidez máxima de 86 km/h como referencia para los buses.

### **2.4.2 Datos de Combustible**

#### **2.4.2.1 Determinación del tipo de combustible y sus especificaciones**

El combustible utilizado por el sector del transporte en el Ecuador es el diésel premium. Se procede a realizar una revisión documental de los Ensayos de los Laboratorios de Ensayos publicados por la Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos del Ecuador (Hidrocarburos, 2016), para la obtención de los datos de especificaciones como, contenido de energía, densidad, y contenido de especies en el combustible diésel premium.

#### **2.4.2.2 Obtención de datos de calidad de lubricante**

Para la obtención de los datos de especificaciones como, contenido de energía, densidad, y contenido de especies en el lubricante, se procede a realizar una revisión documental de las provisiones de aceites, lubricantes y grasas para la comercialización por parte de EP PetroEcuador.(EP PetroEcuador, 2013)

### **2.4.3 Datos de medio ambiente**

#### **2.4.3.1 Determinación de la temperatura mínima, temperatura máxima y humedad relativa del lugar donde se realiza la actividad.**

El modelo COPERT V requiere como datos de entrada la temperatura mínima, temperatura máxima y humedad relativa mensual del lugar donde realizan la ruta los

vehículos, estos datos fueron provistos por Climate-Data para la ciudad de Durán durante el 2017.

#### **2.4.4 Factor de emisión.**

##### **2.4.4.1 Usar factor de emisión por defecto.**

La IPCC dispone de una base de datos de factores de emisión aplicable para el nivel 2 de estimación de emisiones, esta base de datos EFDB(IPCC, 2018), la misma que es sometida a revisión constante corroborando la fiabilidad de los datos proporcionados a través de la aplicación.

En el caso del PM<sub>2.5</sub> la EEA proporciona una base de datos de factores de emisión pertinentes a mencionado contaminante la cual es fiable y aplicable al método establecido para el nivel 2 en la estimación de emisiones de PM<sub>2.5</sub>, estos datos fueron calculados mediante la aplicación del nivel 3 registrando datos de actividad vehicular calidad de combustible, de lubricantes información ambiental, tipo de carretera entre otros.

##### **2.4.4.2 Usar factor de emisión según la actividad y país**

La estimación de los factores de emisión de dióxido de carbono está basada en el carbono contenido en el combustible, representando la oxidación total del carbono que se combustiona. La metodología sugiere como aplicabilidad de buena práctica hacer uso de los VCN (valores calóricos netos) específicos del país, se debe garantizar que los factores de emisión proporcionados por la base de datos de la IPCC sean adecuados a la calidad y a la composición del combustible local.

#### **2.5 Calibración de las variables usadas por el modelo COPERT V.**

En este paso metodológico se calibran aquellas variables de entrada que deben ser estimadas debido a que no se cuenta con datos reales de las mismas. Por lo cual, es pertinente determinar la incidencia de la variabilidad de estas variables con respecto a los resultados obtenidos en cuanto a las estimaciones de emisiones usando el modelo COPERT V y así conocer el posible error asociado a la imprecisión de ese dato.

**Tabla 2.3 Variables a calibrar por el modelo COPERT V**

Variable Calibrada	Unidad	Valor Máximo	Valor Medio	Valor Mínimo
Consumo de combustible anual	Terajoule (TJ)	180,96	90,48	45,24
Kilometraje de vida del vehículo	km	622292,38	497833,9	373375,43
Normativa de emisión	EURO	EURO VI	EURO III	EURO II
Contenido de metales en lubricantes	ppm	700	valores por defecto	0
Temperatura	°C	40	20	5
Humedad relativa	%	90	30	15

Fuente: COPERT V

## **2.6 Estimación de dióxido de carbono y PM<sub>2.5</sub> emitido por la flota de EMOT mediante el modelo COPERT.**

La estimación de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> emitido por la flota vehicular de EMOT para el año 2017, es igual a la suma de las estimaciones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> para los vehículos regidos por las diferentes normativas y actividad acumulada de por vida.

Para ejecutar el modelo COPERT V se procede a los siguientes pasos:

1. Creación de archivo
2. Ingreso de datos de país
  - 2.1. Ingresar continente y país
3. Modo de corrida
  - 3.1. Ingresar nombre de Entidad
  - 3.2. Ingresar Nivel (Nivel 2, Nivel 3)
4. Seleccionar Entidad e ingresar el año o rango de años para los que se realizara la estimación
5. Usar la opción Create Wizard
6. Agregar la Entidad
7. Agregar el año o el rango de años para el cual se realizará la estimación
8. Ingresar información del medio ambiente
  - 8.1. Ingresar temperatura mínima de cada mes
  - 8.2. Ingresar temperatura máxima de cada mes

- 8.3. Ingresar humedad relativa de cada mes
- 9. Ingresar datos del combustible
  - 9.1. Seleccionar tipo de combustible
  - 9.2. Ingresar datos de especificaciones y contenido de especies del combustible seleccionado
- 10. Ingresar datos del lubricante
  - 10.1. Ingresar datos de especificaciones y contenido de especies del lubricante
- 11. Ingresar valor de las ventas totales de combustible
- 12. Configuración del Stock
  - 12.1. Seleccionar la categoría de vehículo
  - 12.2. Seleccionar el segmento y el tipo de Normativa que cumple el vehículo de acuerdo con el año y modelo
- 13. Datos de actividad y stock
  - 13.1. Ingresar en Stock la cantidad de vehículos que cumplen con la normativa seleccionada
  - 13.2. Ingresar la actividad promedio anual
  - 13.3. Ingresar la actividad acumulada por vida útil promedio
- 14. Ingresar actividad de circulación
  - 14.1. Ingresar el tipo de carretera que recorre el vehículo
  - 14.2. Ingresar la rapidez a la que recorre en el tipo de carretera seleccionado
- 15. Balance del combustible
- 16. Cálculos
- 17. Emisiones
  - 17.1. Seleccionamos emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub>
- 18. Realizar sumas de emisiones de los vehículos regidos por las diferentes normativas y actividad acumulada de por vida

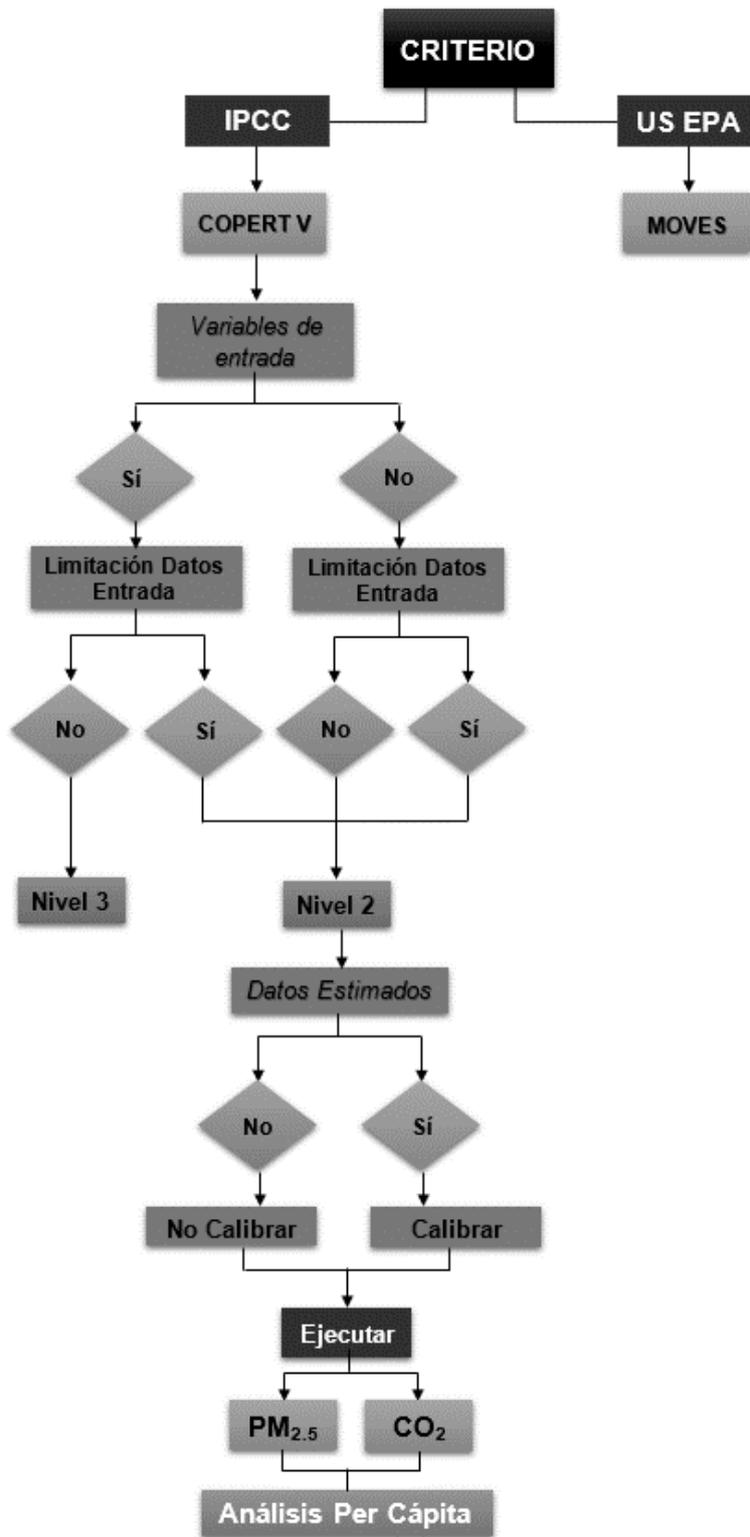


Figura 2.2 Diagrama de Flujo de Metodología para Análisis Per Cápita de Contaminantes CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub>

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Metodología

Para el presente estudio se estableció la metodología del IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change), entre las opciones de metodologías propuestas para la estimación de emisiones y elaboración de informes de los contaminantes CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub>. De acuerdo con la metodología del IPCC, en el capítulo de Energía, en el apartado de combustión móvil se encuentra la categoría de Transporte, de la cual se puede determinar la categoría de fuente, en este caso será la “1 A 3 b iii Camiones para servicio pesado y buses”.

### 3.2 Modelo

La metodología del IPCC sugiere como modelo a usar para la estimación de emisiones de contaminantes el programa COPERT (Computer Programme to Calculate Emissions From Road Transport). La flota vehicular de EMOT cuenta con un alto porcentaje de vehículos europeos, los mismos que son regidos bajo normativas europeas, debido a esto COPERT se convierte en el modelo elegido ya que el programa realiza sus estimaciones con normativas europeas.

### 3.3 Nivel

Se selecciono el nivel 2 para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub>, en el caso del CO<sub>2</sub> siguiendo las sugerencias del IPCC (2017) que indica que no se observa mejoras en las estimaciones al aumentar de nivel. En el caso de PM<sub>2.5</sub> porque se carece de factor de emisión local.

### **3.4 Actividad vehicular**

El modelo COPERT V solicita algunas variables de ingreso, cuyos valores fueron obtenidos mediante la aplicación de la metodología, de esta manera se establecieron los datos de actividad vehicular.

En la Tabla 3.1 se detallan las características del parque vehicular de la flota EMOT, entre los datos de los vehículos se encuentran: marca, tipo de combustible, modelo, año de fabricación, normativa de emisión de la Unión Europea y la empresa a la que pertenecen.

**Tabla 3.1 Flota EMOT. Descripción de la flota vehicular EMOT**

ID	Marca	Combustible	Modelo	Año de fabricación	Edad	Normativa de emisiones	EMPRESA
1	DONGFENG	DIÉSEL	DHZ1120KTD16 <sup>1</sup>	2005	12	EURO II	TRANSURBAN
2	DONGFENG	DIÉSEL	DHZ1120KTD16	2005	12	EURO II	TRANSURBAN
3	KING	DIÉSEL	DHZ1120KTD25 <sup>1</sup>	2006	11	EURO II	TRANSURBAN
4	KING	DIÉSEL	DHZ1113WDKT <sup>1</sup>	2004	13	EURO II	TRANSURBAN
5	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD <sup>2</sup>	2012	5	EURO II	TRANSURBAN
6	IVECO	DIÉSEL	CC170E22 <sup>3</sup>	2007	10	EURO III	TRANSURBAN
7	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2006	11	EURO II	TRANSURBAN
8	DONGFENG	DIÉSEL	DHZ1120KTD16	2005	12	EURO II	TRANSURBAN
9	KING	DIÉSEL	DHZ1120KTD25	2006	11	EURO II	TRANSURBAN
10	KING	DIÉSEL	SR6995T <sup>1</sup>	2003	14	EURO III	TRANSURBAN
11	KING	DIÉSEL	DHZ1120KTD25	2005	12	EURO II	TRANSURBAN
12	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2012	5	EURO II	TRANSURBAN
13	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD 6,5 4X2 TM CN	2013	4	EURO II	URBADURÁN
14	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD 6,5 4X2 TM CN	2013	4	EURO II	URBADURÁN
15	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2012	5	EURO II	URBADURÁN
16	MERCEDES BENZ	DIÉSEL	OF 172159 6,0 3P 4X2 TM DIÉSEL <sup>4</sup>	2016	1	EURO II	URBADURÁN

<sup>1</sup> Por falta de datos se considera la normativa más contaminante, en este caso EURO II.

<sup>2</sup> Fuente: (Volkswagen, n.d.)

<sup>3</sup> Fuente: ("Iveco CC170E22," 2012)

<sup>4</sup> Fuente: (Vía rural, n.d.)

**Tabla 3.2 Flota EMOT. Descripción de la flota vehicular EMOT**

17	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2011	6	EURO II	URBADURÁN
18	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD 6,5 4X2 TM DIÉSEL CN	2013	4	EURO II	URBADURÁN
19	HINO	DIÉSEL	AK8JRSA 7.7 4X2 TM DIÉSEL <sup>5</sup>	2015	2	EURO III	URBADURÁN
20	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2011	6	EURO II	URBADURÁN
21	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2012	5	EURO II	URBADURÁN
22	HINO	DIÉSEL	AK8JRSA AC 7.7 2P 4X2 TM DIÉSEL	2015	2	EURO III	URBADURÁN
23	MERCEDES BENZ	DIÉSEL	OF 1721-59 CHASIS	2010	7	EURO II	URBADURÁN
24	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD BUS	2010	7	EURO II	URBADURÁN
25	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD 6.4 4X2 TM DIÉSEL CN	2014	3	EURO II	URBADURÁN
26	DONGFENG	DIÉSEL	DHZ1120KTD16	2005	12	EURO II	URBADURÁN
27	HINO	DIÉSEL	AK8JRSA 7.7 3P 4X2 TM DIÉSEL	2016	1	EURO III	URBADURÁN
28	MERCEDES BENZ	DIÉSEL	OF 1721-59 CHASIS	2011	6	EURO II	URBADURÁN
29	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD 6,5 4X2 TM CN	2013	4	EURO II	URBADURÁN
30	HINO	DIÉSEL	AK8JRSA 7,7 3P 4X2 TM DIÉSEL	2017	0	EURO III	URBADURÁN
31	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	172010 OD 6,5 2P 4X2 TM	2013	4	EURO II	URBADURÁN
32	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2011	6	EURO II	URBADURÁN
33	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2011	6	EURO II	URBADURÁN
34	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2011	6	EURO II	URBADURÁN
35	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2012	5	EURO II	URBADURÁN
36	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 6,4 3P 4X2 TM DIÉSEL	2014	3	EURO II	URBADURÁN
37	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD 6,4 4X2 TM DIÉSEL CN	2014	3	EURO II	URBADURÁN
38	HINO	DIÉSEL	AK8JRSA 7,7 4X2 TM DIÉSEL	2015	2	EURO III	URBADURÁN
39	HINO	DIÉSEL	AK8JRSA 7,7 2P 4X2 TM DIÉSEL	2014	3	EURO III	URBADURÁN
40	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2012	5	EURO II	URBADURÁN

<sup>5</sup> Fuente: (HINO, 2012)

**Tabla 3.3 Flota EMOT. Descripción de la flota vehicular EMOT**

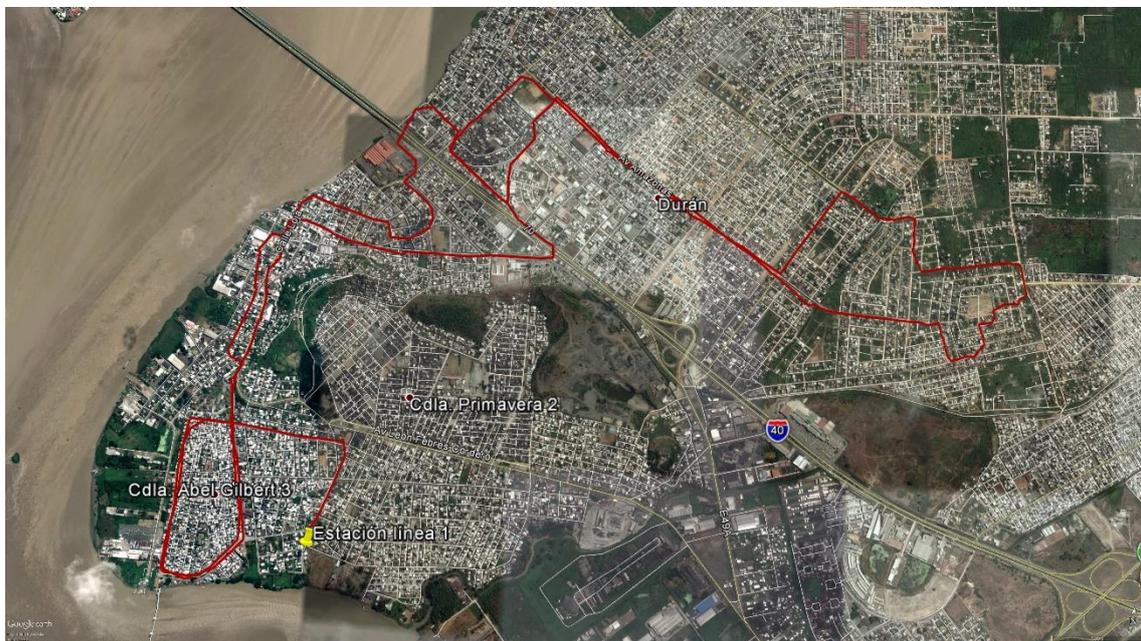
41	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD 6,4 4X2 TM DIÉSEL CN	2014	3	EURO II	URBADURÁN
42	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2011	6	EURO II	URBADURÁN
43	MERCEDES BENZ	DIÉSEL	OF 1721-59 6.0 3P 4X2 TM DIÉSEL	2016	1	EURO II	URBADURÁN
44	HINO	DIÉSEL	AK8JRSA 7.7 4X2 TM DIÉSEL CN	2015	2	EURO III	URBADURÁN
45	CHEVROLET	DIÉSEL	FTR32M TORPEDO 7.1 2P 4X2 TM <sup>1</sup>	2002	15	EURO II	URBADURÁN
46	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2011	6	EURO II	URBADURÁN
47	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2012	5	EURO II	URBADURÁN
48	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD 6.0 2P 4X2 TM DIÉSEL	2013	4	EURO II	URBADURÁN
49	HINO	DIÉSEL	AK8JRSA 7.7 3P 4X2 TM DIÉSEL	2016	1	EURO III	URBADURÁN
50	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2011	6	EURO II	URBADURÁN
51	MERCEDES BENZ	DIÉSEL	OF 1721-52	2011	6	EURO II	URBADURÁN
52	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD 6.5 4X2 TM CN	2013	4	EURO II	URBADURÁN
53	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2012	5	EURO II	URBADURÁN
54	MERCEDES BENZ	DIÉSEL	OF 1721-52	2011	6	EURO II	URBADURÁN
55	MITSUBISHI	DIÉSEL	BUS TIPO TORPEDO 6.0 2P 4X2 TM <sup>1</sup>	2002	15	EURO II	URBADURÁN
56	KING	DIÉSEL	HFC6801KY <sup>1</sup>	2001	16	EURO II	URBADURÁN
57	HINO	DIÉSEL	AK8JRSA 7.7 4X2 TM DIÉSEL CN	2017	0	EURO III	URBADURÁN
58	CHEVROLET	DIÉSEL	FTR32M CHASIS TORPEDO	2002	15	EURO II	URBADURÁN
59	HINO	DIÉSEL	AK8JRSA 7.7 3P 4X2 TM DIÉSEL	2017	0	EURO III	URBADURÁN
60	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2011	6	EURO II	URBADURÁN
61	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD 6.5 4X2 TM CN	2013	4	EURO II	URBADURÁN
62	HINO	DIÉSEL	AK8JRSA TM 7.6 2P 4X2	2013	4	EURO III	URBADURÁN
63	DONGFENG	DIÉSEL	DHZ1120KTD16	2005	12	EURO II	URBADURÁN
64	KING	DIÉSEL	DHZ1113WDKT	2004	13	EURO II	TRANSURBAN
65	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD 6.4 4P 4X2 TM	2014	3	EURO II	TRANSURBAN
66	KING	DIÉSEL	DHZ1113WDKT	2004	13	EURO II	TRANSURBAN

**Tabla 3.4 Flota EMOT. Descripción de la flota vehicular EMOT**

67	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2006	11	EURO II	TRANSURBAN
68	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD 7.8 2P 4X2 TA	2006	11	EURO II	TRANSURBAN
69	KING	DIÉSEL	SR6995T	2003	14	EURO II	TRANSURBAN
70	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2012	5	EURO II	TRANSURBAN
71	KING	DIÉSEL	SR6995T	2003	14	EURO II	TRANSURBAN
72	DONGFENG	DIÉSEL	DHZ1120KTD16	2005	12	EURO II	TRANSURBAN
73	MERCEDES BENZ	DIÉSEL	OF141752 <sup>1</sup>	2001	16	EURO II	TRANSURBAN
74	KING	DIÉSEL	SR6995T	2003	14	EURO II	TRANSURBAN
75	KING	DIÉSEL	DHZ1120KTD25	2006	11	EURO II	TRANSURBAN
76	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2011	6	EURO II	TRANSURBAN
77	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD 6.4 4P 4X2 TM	2014	3	EURO II	TRANSURBAN
78	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD 6.4 3P 4X2 TM DIÉSEL	2014	3	EURO II	TRANSURBAN
79	DONGFENG	DIÉSEL	DHZ1120KTD16	2005	12	EURO II	TRANSURBAN
80	KING	DIÉSEL	DHZ1120KTD25	2005	12	EURO II	TRANSURBAN
81	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD 6.4 4X2 TM	2014	3	EURO II	TRANSURBAN
82	VOLKSWAGEN	DIÉSEL	17210 OD	2012	5	EURO II	TRANSURBAN
83	KING	DIÉSEL	DHZ1120KTD25	2005	12	EURO II	TRANSURBAN
84	DONGFENG	DIÉSEL	DHZ1120KTD16	2005	12	EURO II	TRANSURBAN

Fuente: EMOT

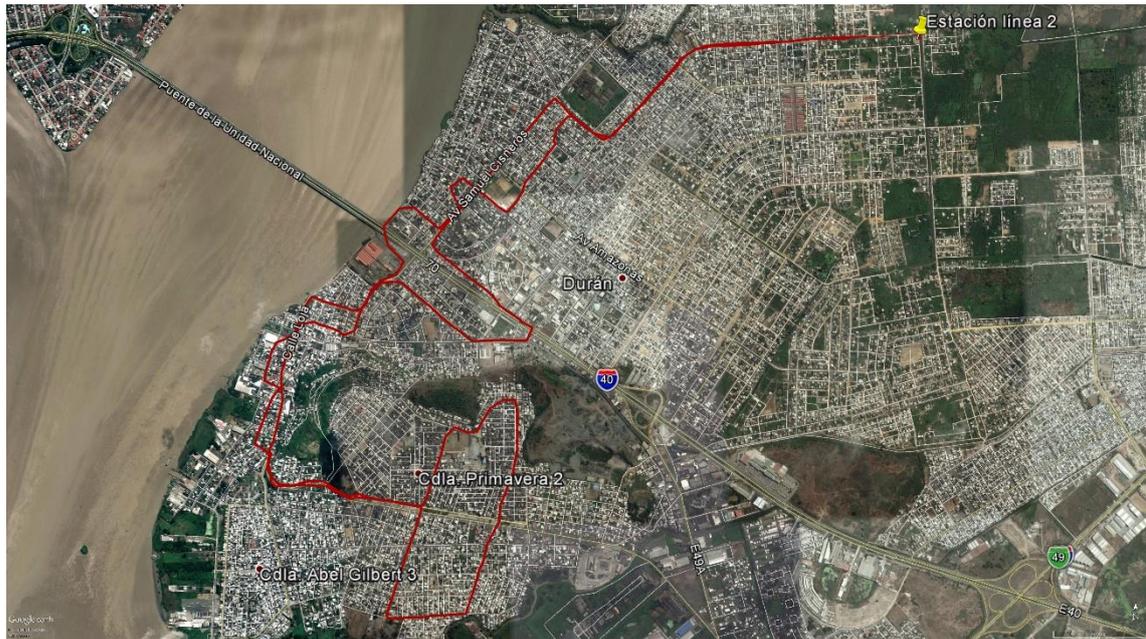
Después de la identificación de las normativas por las cuales son regidas los vehículos de la flota vehicular EMOT, se continua con la determinación del kilometraje de vida útil, la distancia recorrida, tipo de carretera y rapidez. Para esto es necesario primero detallar como se muestra en la tabla 3.1, que las rutas internas del cantón Durán son cubiertas por dos empresas, TransUrban y UrbaDurán, las cuales comparten las rutas 1 y 2, las mismas que alternan cada día, y las rutas 4 y 5 las realizan de manera independiente. De esta manera la flota vehicular de EMOT para cubrir la necesidad de transporte urbano interno del cantón Durán han fijado 4 rutas.



**Figura 3.1 Ruta 1 de transporte interno de Durán**

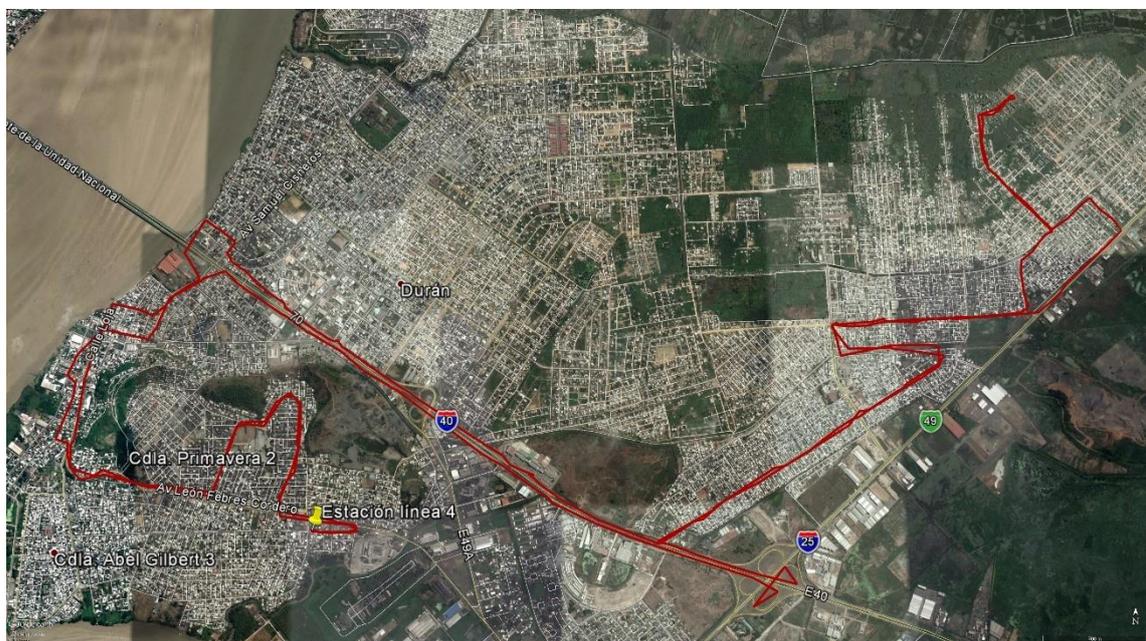
En la figura 3.1 se detalla de color rojo el recorrido de la ruta 1 en el área del cantón Durán y de color amarillo la ubicación de la estación, la fotografía proporcionada por la herramienta Google Earth Pro también cuenta con los nombres de los sectores por los cuales transita la ruta. A partir de la figura se pudo determinar el tipo de carretera, siendo así que el 81.47% de la ruta 1 es conformado de parte urbana y el 18.53% es rural.

De la misma manera se realizó el trazado de las rutas 2, 4 y 5 obteniendo las siguientes figuras.



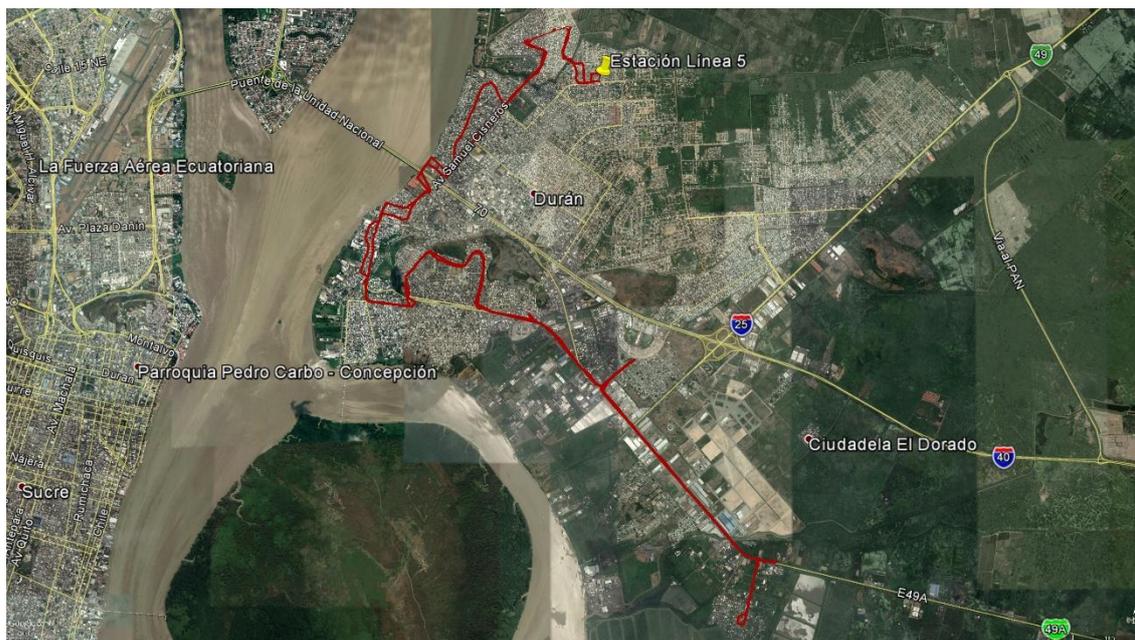
**Figura 3.2 Ruta 2 de transporte interno de Durán**

La ruta 2 presenta un 4.44% de ruta rural y un 95.56% de ruta urbana en cuanto a su tipo de carretera.



**Figura 3.3 Ruta 4 de transporte interno de Durán**

La ruta 4 presenta un 7.21% de ruta rural y un 92.79% de ruta urbana en cuanto a su tipo de carretera.



**Figura 3.4 Ruta 5 de transporte interno de Durán**

La ruta 5 presenta un 10.71% de ruta rural y un 89.29% de ruta urbana en cuanto a su tipo de carretera.

Una vez trazadas las rutas fue necesario determinar las distancias recorridas anualmente por vehículos de cada ruta, tal como se muestra en la tabla 3.2. La distancia recorrida anual para cada vehículo fue establecida a partir del número de vueltas diarias a cumplir por cada vehículo, las cuales dependen de la frecuencia determinada para cada ruta. Así mismo este resultado se da tomando en consideración los 365 días del año como días operativos de cada ruta.

**Tabla 3.5 Actividad de la flota EMOT en el año 2017**

Ruta	Distancia recorrida por vuelta (km)	Frecuencia de salida (h:min:seg)	Número de vueltas diarias	Distancia recorrida anualmente (km)
1	23,75	0:09:00	6	52012,50
2	20,93	0:07:00	7	53476,15
4	36,90	0:04:00	6	80811,00
5	37,34	0:07:00	5	68145,50

En la revisión de algunos de los vehículos de la flota EMOT se pudo observar que la gran mayoría no contaba con el kilometraje recorrido a lo largo de su vida útil, para lo cual se asumió a partir de las distancias recorridas anualmente determinadas en la tabla 3.2 y la edad del vehículo en la tabla 3.1, la distancia recorrida a lo largo de su vida útil. Finalmente se realizó un promedio de kilometraje de vida útil para la cantidad de vehículos que cubren cada ruta, como se puede observar en la tabla 3.3.

La rapidez de los vehículos fue observada en el rapidómetro durante recorridos de las rutas y registradas para las respectivas zonas urbanas y rurales.

**Tabla 3.6 Kilometraje de vida útil y rapidez para la ruta 1**

ID	Normativa	Distancia recorrida anualmente (km)	Edad del vehículo	Kilometraje vida útil (km)	Rapidez en zona urbana (km/h)	Rapidez en zona rural (km/h)
1	EURO II	52012,50	12	624150,00	49	15
2	EURO II	52012,50	12	624150,00	49	15
3	EURO II	52012,50	11	572137,50	49	15
4	EURO II	52012,50	13	676162,50	49	15
5	EURO II	52012,50	5	260062,50	49	15
7	EURO II	52012,50	11	572137,50	49	15
8	EURO II	52012,50	12	624150,00	49	15
9	EURO II	52012,50	11	572137,50	49	15
11	EURO II	52012,50	12	624150,00	49	15
12	EURO II	52012,50	5	260062,50	49	15
	<b>Kilometraje promedio de vida del vehículo</b>			540930,00		
6	Euro III	52012,50	10	520125,00	49	15
10	Euro III	52012,50	14	728175,00	49	15
	<b>Kilometraje promedio de vida del vehículo</b>			624150,00		

De la misma manera se realizó el cálculo de kilometraje de vida útil y la rapidez de las zonas para las rutas 2, 4 y 5 obteniendo los siguientes datos.

**Tabla 3.7 Kilometraje de vida útil y rapidez para la ruta 2**

ID	Normativa	Distancia recorrida anualmente (km)	Edad del vehículo	Kilometraje vida (km)	Rapidez en zona urbana (km/h)	Rapidez en zona rural (km/h)
13	EURO II	53476,15	4	213904,60	52	15
14	EURO II	53476,15	4	213904,60	52	15
15	EURO II	53476,15	4	213904,60	52	15
16	EURO II	53476,15	6	320856,90	52	15
17	EURO II	53476,15	5	267380,75	52	15
18	EURO II	53476,15	5	267380,75	52	15
20	EURO II	53476,15	6	320856,90	52	15
21	EURO II	53476,15	6	320856,90	52	15
23	EURO II	53476,15	7	374333,05	52	15
24	EURO II	53476,15	7	374333,05	52	15
25	EURO II	53476,15	3	160428,45	52	15
26	EURO II	53476,15	12	641713,80	52	15
28	EURO II	53476,15	1	53476,15	52	15
	<b>Kilometraje promedio de vida del vehículo</b>			287948,50		
19	EURO III	53476,15	2	106952,30	52	15
22	EURO III	53476,15	2	106952,30	52	15
27	EURO III	53476,15	1	53476,15	52	15
	<b>Kilometraje promedio de vida del vehículo</b>			89126,92		

**Tabla 3.8 Kilometraje de vida útil y rapidez para la ruta 4**

ID	Normativa	Distancia recorrida anualmente (km)	Edad del vehículo	Kilometraje vida (km)	Rapidez en zona urbana (km/h)	Rapidez en zona rural (km/h)
29	EURO II	80811	4	323244	70	18
31	EURO II	80811	4	323244	70	18
32	EURO II	80811	4	323244	70	18
33	EURO II	80811	4	323244	70	18
34	EURO II	80811	4	323244	70	18
35	EURO II	80811	6	484866	70	18
36	EURO II	80811	6	484866	70	18
37	EURO II	80811	6	484866	70	18
40	EURO II	80811	6	484866	70	18
41	EURO II	80811	6	484866	70	18
42	EURO II	80811	6	484866	70	18
43	EURO II	80811	1	80811	70	18
45	EURO II	80811	6	484866	70	18
46	EURO II	80811	6	484866	70	18
47	EURO II	80811	3	242433	70	18
48	EURO II	80811	3	242433	70	18
50	EURO II	80811	3	242433	70	18
51	EURO II	80811	6	484866	70	18
52	EURO II	80811	5	404055	70	18
53	EURO II	80811	5	404055	70	18
54	EURO II	80811	5	404055	70	18
55	EURO II	80811	5	404055	70	18
56	EURO II	80811	15	1212165	70	18
58	EURO II	80811	15	1212165	70	18
60	EURO II	80811	15	1212165	70	18
61	EURO II	80811	16	1292976	70	18
63	EURO II	80811	12	969732	70	18
	<b>Kilometraje promedio de vida del vehículo</b>			529761		
30	EURO III	80811	0	0	70	18
38	EURO III	80811	0	0	70	18
39	EURO III	80811	2	161622	70	18
44	EURO III	80811	2	161622	70	18
49	EURO III	80811	3	242433	70	18
57	EURO III	80811	4	323244	70	18
59	EURO III	80811	1	80811	70	18
62	EURO III	80811	0	0	70	18
	<b>Kilometraje promedio de vida del vehículo</b>			121217		

**Tabla 3.9 Kilometraje de vida útil y rapidez para la ruta 5**

ID	Normativa	Distancia recorrida anualmente (km)	Edad del vehículo	Kilometraje vida (km)	Rapidez en zona urbana (km/h)	Rapidez en zona rural (km/h)
64	EURO II	68146	3	204437	62	18
65	EURO II	68146	3	204437	62	18
66	EURO II	68146	3	204437	62	18
67	EURO II	68146	11	749601	62	18
68	EURO II	68146	11	749601	62	18
69	EURO II	68146	12	817746	62	18
70	EURO II	68146	12	817746	62	18
71	EURO II	68146	6	408873	62	18
72	EURO II	68146	5	340728	62	18
73	EURO II	68146	13	885892	62	18
74	EURO II	68146	13	885892	62	18
75	EURO II	68146	14	954037	62	18
76	EURO II	68146	14	954037	62	18
77	EURO II	68146	14	954037	62	18
78	EURO II	68146	12	817746	62	18
79	EURO II	68146	12	817746	62	18
80	EURO II	68146	12	817746	62	18
81	EURO II	68146	16	1090328	62	18
82	EURO II	68146	11	749601	62	18
83	EURO II	68146	3	204437	62	18
84	EURO II	68146	5	340728	62	18
<b>Kilometraje promedio de vida del vehículo</b>				665230		

### 3.5 Combustible

El tipo de combustible usado por la flota vehicular EMOT es el diésel premium para el sector automotriz, información que fue suministrada por la empresa. En cuanto a especificaciones del tipo de combustible que necesita el programa se detalla el contenido de azufre, contenido de energía, densidad y contenido de especies de metales, los cuales fueron obtenidos a partir de caracterizaciones del diésel premium de acuerdo a la norma NTE INEN 1489:2012 (Valencia, 2013).

**Tabla 3.10 Especificaciones del combustible**

<b>Diésel Premium</b>		
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Contenido de energía (KJ/Kg)	Contenido de azufre (ppm)
826.2	45,9246	110

Fuente: (Valencia, 2013)

### 3.6 Datos de medio ambiente

Los datos de medio ambiente fueron obtenidos del INAMHI (Instituto nacional de meteorología e hidrología del Ecuador), estos datos corresponden a la humedad, temperatura máxima y mínima del cantón Durán.

**Tabla 3.11 Temperatura máxima, mínima y humedad relativa**

Mes	Temperatura Mínima [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Humedad [%]
<b>Enero</b>	22,3	36,2	0,818
<b>Febrero</b>	22,9	34,4	0,863
<b>Marzo</b>	23,5	33,4	0,847
<b>Abril</b>	22,4	33,3	0,783
<b>Mayo</b>	22,2	33	0,789
<b>Junio</b>	21,8	32,7	0,76
<b>Julio</b>	19,7	30,4	0,744
<b>Agosto</b>	19,4	31,9	0,746
<b>Septiembre</b>	20	31,8	0,721
<b>Octubre</b>	20,1	34,2	0,736
<b>Noviembre</b>	20,1	32,4	0,711
<b>Diciembre</b>	18,8	33,6	0,746

Fuente: (INAMHI)

### 3.7 Factor de emisión

El factor de emisión utilizado por el modelo COPERT V en la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> está establecido a partir de la base de datos de la EMEP/EEA (European Monitoring and Evaluation Programme/European Environment Agency). Al ingresar el tipo de combustible, tipo de vehículo, el sector, el contaminante para el cual es realizada la estimación, el nivel y la normativa de emisión, el modelo utilizara el factor de emisión de la base de datos de la EMEP/EEA.

### 3.8 Resultados de Calibración del modelo COPERT V.

#### 3.8.1 Calibración de variables meteorológicas

Para efecto de calibración del modelo COPERT V a fin de garantizar la calidad de los resultados obtenidos es necesario realizar un análisis de sensibilidad de variables de ingreso respecto a los resultados obtenidos en la ejecución del modelo, para este caso se realizan pruebas de sensibilidad de las variables meteorológicas siendo estas humedad relativa y temperatura; la temperatura se calibra manteniendo un valor fijo de la humedad relativa y variando temperaturas de manera significativa.

La humedad relativa se calibra manteniendo fija la temperatura y variando la humedad relativa de manera significativa en las variables ingresadas al modelo manteniendo fijos los demás parámetros ingresados.

**Tabla 3.12 Variables Meteorológicas: Calibración de Temperatura**

Calibración de temperatura			
Humedad relativa %	Temperatura	Emisiones CO <sub>2</sub> (t)	Emisiones PM 2.5 (t)
70	5	2968,31388	0,59295698
	20	2968,31388	0,59295698
	30	2968,31388	0,59295698
	40	2968,31388	0,59295698

**Tabla 3.13 Variables Meteorológicas: Calibración de Humedad Relativa**

Calibración de humedad relativa			
Humedad relativa	Temperatura (C)	Emisiones CO <sub>2</sub> (t)	Emisiones PM 2.5 (t)
15	35	2968,31388	0,59295698
30		2968,31388	0,59295698
60		2968,31388	0,59295698
90		2968,31388	0,59295698

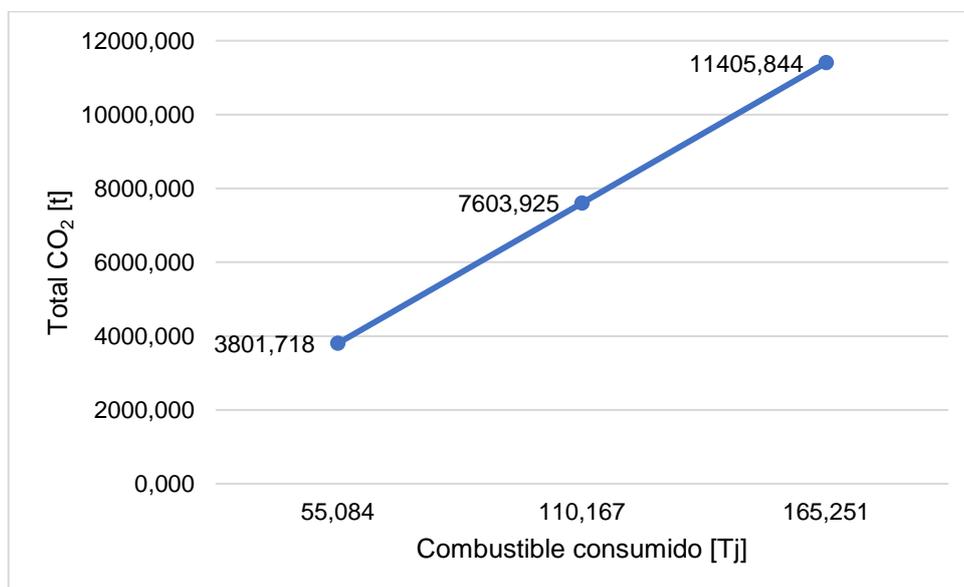
Como se puede observar los resultados obtenidos en la calibración de las variables temperatura y humedad relativa no presentan incidencia en los resultados obtenidos en la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> Y PM 2.5.

### 3.8.2 Calibración de la variable combustible consumido en Terajoules [TJ]

El combustible anual consumido por los vehículos incide de manera significativa en los resultados obtenidos en la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> realizada en el modelo COPERT V, siendo esta la variable más relevante en la ejecución del modelo para la estimación de este GEI ya que se relaciona de manera proporcional.

**Tabla 3.14 Calibración de la variable de combustible consumido en [TJ]**

	50% del consumo más próximo	consumo más próximo	150% del consumo más próximo
<b>Combustible consumido [TJ]</b>	55,084	110,167	165,251
<b>Total CO<sub>2</sub> [t]</b>	3801,718	7603,925	11405,844



**Figura 3.5 Calibración de consumo anual de combustible**

### 3.8.3 Calibración de la variable kilometraje de vida del vehículo

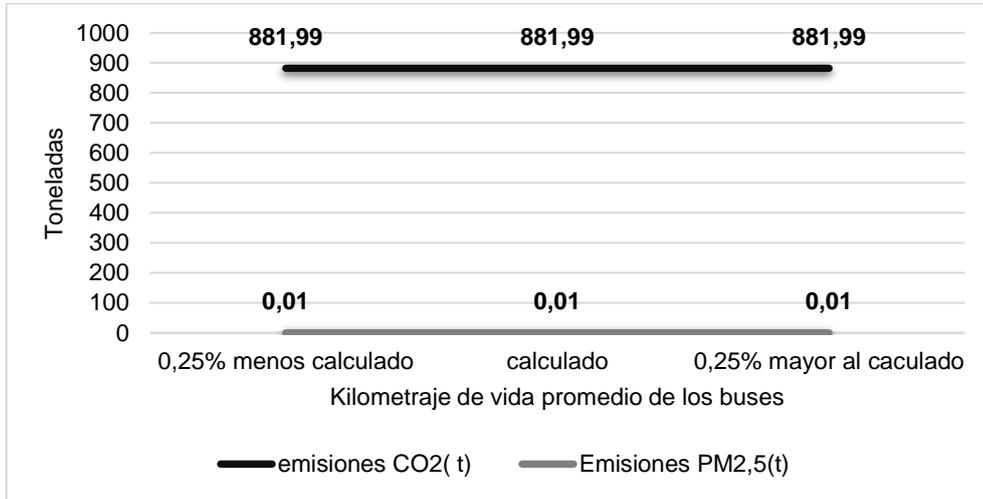
La calibración de la variable kilometraje de vida en los vehículos utilizada como entrada en la ejecución del modelo COPERT V no presenta incidencia en el resultado final obtenido de la estimación de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub>

**Tabla 3.15 Calibración de la variable kilometraje de vida del vehículo**

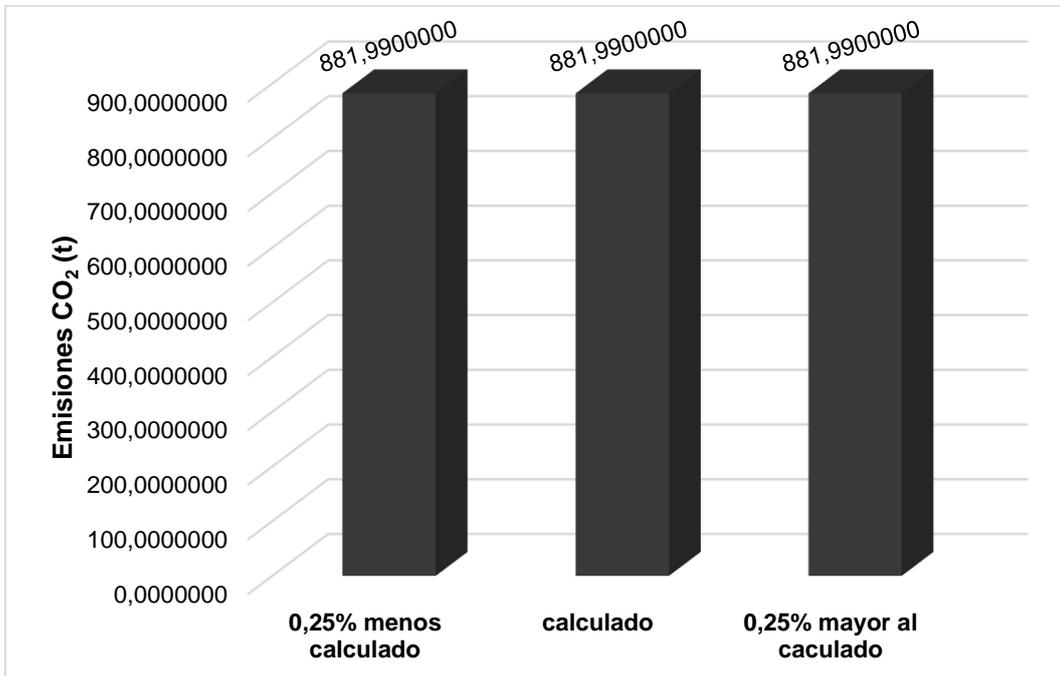
	Kilometraje de vida del vehículo	Normativa de emisión del vehículo	Emisiones CO <sub>2</sub> (t)	Emisiones PM <sub>2,5</sub> (t)
<b>0,25% menos calculado</b>	373375,43	EURO II	357,580000	0,005000
	416100	EURO III	524,410000	0,005000
		<b>Total</b>	<b>881,990000</b>	<b>0,010000</b>
<b>Calculado</b>	497833,9	EURO II	357,580000	0,005000
	554800	EURO III	524,410000	0,005000
		<b>Total</b>	<b>881,990000</b>	<b>0,010000</b>
<b>0,25% mayor al calculado</b>	622292,38	EURO II	357,580000	0,005000
	693500	EURO III	524,410000	0,005000
		<b>Total</b>	<b>881,990000</b>	<b>0,010000</b>

**Tabla 3.16 Calibración de kilometraje de vida**

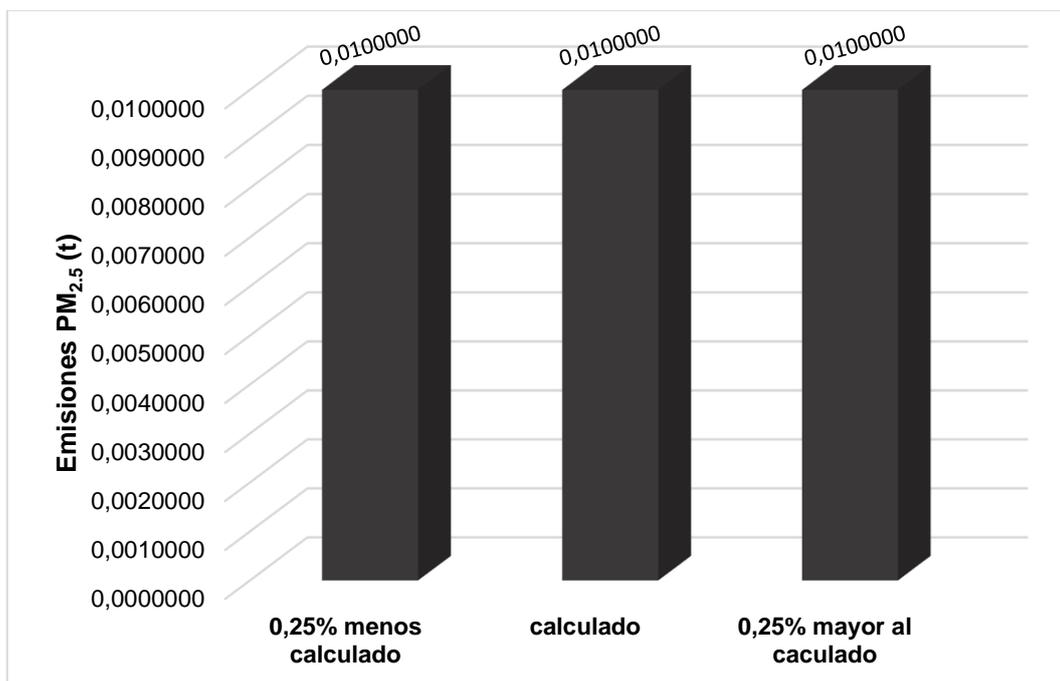
<b>Calibración de kilometraje de vida</b>		
	Emisiones CO <sub>2</sub> (t)	Emisiones PM <sub>2,5</sub> (t)
<b>0,25% menos calculado</b>	881,9900000	0,0100000
<b>calculado</b>	881,9900000	0,0100000
<b>0,25% mayor al calculado</b>	881,9900000	0,0100000



**Figura 3.6 Calibración de kilometraje de vida promedio de los buses**



**Figura 3.7 Calibración de kilometraje de vida: Emisión CO<sub>2</sub> (t)**



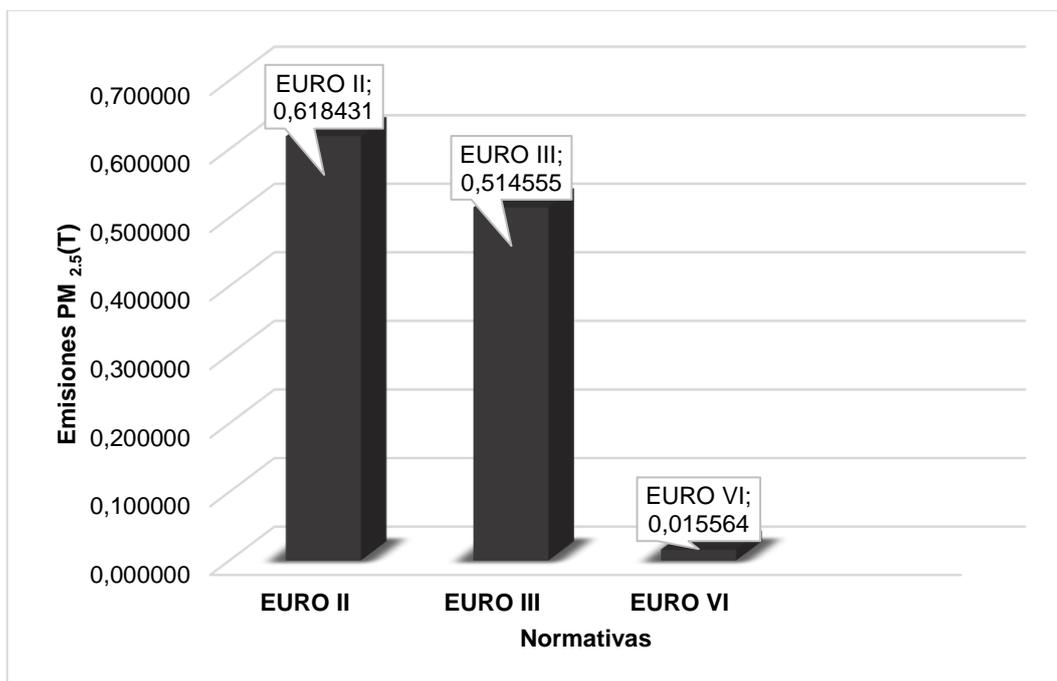
**Figura 3.8 Calibración de kilometraje de vida: Emisión PM<sub>2.5</sub> (t)**

### 3.8.4 Calibración de las normativas de emisión de los vehículos

Al calibrar la variable ingresada como normativa de emisión de los vehículos, se muestra que el valor obtenido en tonelada de PM 2.5 disminuye al actualizar la normativa de emisión en los vehículos que son objeto de estudio, presentando una disminución en gran proporción para el caso de la normativa EURO VI.

**Tabla 3.17 Calibración de las normativas de emisión de los vehículos**

Normativas	Emisiones PM <sub>2.5</sub> (t)
EURO II	0,618431
EURO III	0,514555
EURO VI	0,015564



**Figura 3.9 Calibración de las normativas de emisión de los vehículos: Emisiones PM<sub>2.5</sub>(T)**

### 3.8.5 Calibración de contenido de metales en lubricantes

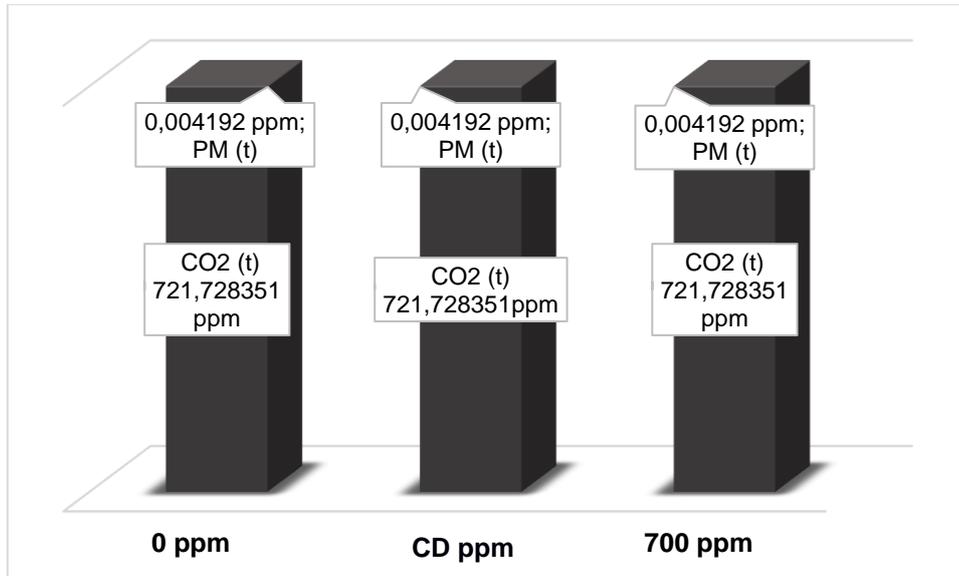
En cuanto a los datos de lubricante se usaron los valores establecidos por el modelo COPERT V, ya que como se muestra en la figura 3.10, entre las variables calibradas, las especies presentes en el lubricante no tienen incidencia en los resultados de estimación de emisiones de los contaminantes CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub>.

Por ausencia de datos de cantidad de metales presentes en los aceites lubricantes se procede a realizar la calibración de esta variable en el modelo COPERT V con lo cual se muestra que los resultados de la estimación tanto en PM<sub>2.5</sub> como en CO<sub>2</sub> no presenta variación ante la alteración de los datos de entrada calidad de lubricante.

**Tabla 3.18 Contenido de metales en lubricantes**

Contenido de metales en lubricantes		
ppm	CO2 (t)	PM (t)
0 ppm	721,728351	0,004192
CD ppm	721,728351	0,004192
700 ppm	721,728351	0,004192

Notas: CD (cantidades por defecto)



**Figura 3.10 Calibración de contenido de metales lubricantes**

El combustible consumido presenta incidencia de manera significativa en la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, siendo esta la variable más representativa. La normativa de emisión es otra de las variables calibradas en el modelo que presentó incidencia en la estimación de emisiones para el PM<sub>2.5</sub>

**Tabla 3.19 Variables que se calibraron**

Variable calibrada	Incidencia en el cálculo de emisiones
<b>Consumo de combustible anual</b>	<b>Tiene incidencia</b>
<b>Kilometraje de vida del vehículo</b>	No tiene incidencia
<b>Normativa de emisión</b>	<b>Tiene incidencia</b>
<b>Contenido de metales en lubricantes</b>	No tiene incidencia
<b>Temperatura</b>	No tiene incidencia
<b>Humedad relativa</b>	No tiene incidencia

A continuación, se muestra la lista de variables de entrada del modelo, con sus respectivos valores a usar para la estimación.

**Tabla 3.20 Valores usados para la estimación de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> para el transporte urbano interno de Durán para el año 2017**

<b>Variables de Entrada al Modelo</b>				
<b>Variables Meteorológicas</b>				
<b>Variable</b>		<b>Temperatura mínima</b>	<b>Temperatura máxima</b>	<b>Humedad relativa</b>
<b>Unidad</b>		°C	°C	%
<b>Dato ingresado</b>	Enero	22,3	36,2	0,818
	Febrero	22,9	34,4	0,863
	Marzo	23,5	33,4	0,847
	Abril	22,4	33,3	0,783
	Mayo	22,2	33	0,789
	Junio	21,8	32,7	0,76
	Julio	19,7	30,4	0,744
	Agosto	19,4	31,9	0,746
	Septiembre	20	31,8	0,721
	Octubre	20,1	34,2	0,736
	Noviembre	20,1	32,4	0,711
	Diciembre	18,8	33,6	0,746
<b>Especificaciones del Combustible</b>				
<b>Variable</b>	<b>Contenido de Energía</b>	<b>Densidad</b>	<b>Contenido de Azufre</b>	<b>Contenido de Metales</b>
<b>Unidad</b>	MJ/kg	kg/m <sup>3</sup>	ppm	ppm
<b>Dato ingresado</b>	45,92	826,2	110	Por defecto del programa
<b>Error de Calibración</b>	-	-	-	0%
<b>Especificaciones de Lubricante</b>				
<b>Variable</b>	<b>Especies metálicas</b>			
<b>Unidad</b>	ppm			
<b>Dato ingresado</b>	Por defecto del programa			
<b>Error de Calibración</b>	0%			
<b>Consumo de Combustible</b>				
<b>Unidad</b>	Terajoule [TJ]			
<b>Dato ingresado</b>	110,17			
<b>Error de Calibración</b>	Relación lineal con las emisiones de CO <sub>2</sub> Y PM 2,5			
<b>Características de los vehículos</b>				
<b>Variable</b>	<b>Categoría</b>	<b>Combustible usado</b>	<b>Segmento</b>	<b>Normativa</b>
<b>Dato seleccionado</b>	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	EURO II, EURO III

**Tabla 3.21 Valores usados para la estimación de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> para el transporte urbano interno de Durán para el año 2017**

<b>Datos de Actividad Vehicular</b>								
<b>Ruta</b>	<b>EURO Standard</b>	<b>Stock(n)</b>	<b>Actividad anual media (km)</b>	<b>Kilometraje de vida promedio en los vehículos</b>	<b>% Recorrido Urbano</b>	<b>% Recorrido Rural</b>	<b>Rapidez en Recorrido Urbano</b>	<b>Rapidez en Recorrido Rural</b>
<b>Ruta 1</b>	EURO II	10	52012,5	540930,00	81,47%	18,53%	49	15
	EURO III	2	52012,5	624150,00	81,47%	18,53%	49	15
<b>Ruta 2</b>	EURO II	13	53476,15	287948,50	95,56%	4,44%	52	15
	EURO III	3	53476,15	89126,92	95,56%	4,44%	52	15
<b>Ruta 4</b>	EURO II	27	80811,00	529761,00	92,79%	7,21%	70	18
	EURO III	8	80811,00	121216,50	92,79%	7,21%	70	18
<b>Ruta 5</b>	EURO II	21	68145,5	665229,88	89,29%	10,71%	62	18

Para los cálculos del PM<sub>2.5</sub> en kgCO<sub>2</sub>-eq se reportará que todo el PM<sub>2.5</sub> es CN, debido a la falta del GWP100 del PM<sub>2.5</sub>, se usará el GWP100 del CN (para 100 años) que es de 460 según (Seris, 2017). De esta manera se obtiene que el impacto climático producido por las emisiones de 1,675 t de PM<sub>2.5</sub> de la flota EMOT en el año 2017, es de 770,500 kgCO<sub>2</sub>-eq.

En cuanto al CO<sub>2</sub> que se estimó, se usará el GWP100 del CO<sub>2</sub>, que es de 1 según (Green House Protocol, 2015). De esta forma se obtuvo que el impacto climático producido por las emisiones de 7603,92 t de CO<sub>2</sub> de la flota EMOT en el año 2017, es de 7603,92 kgCO<sub>2</sub>.

El inventario de emisiones de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de GEI para el año 2012 del Ecuador no consideró el PM<sub>2.5</sub> entre los contaminantes de criterio a reportar, solo se valoran emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y NO<sub>2</sub> (Ministerio del Ambiente - MAE, 2017). En este inventario nacional de gases de efecto invernadero se muestra que el sector del transporte contribuye con 46.20% de las emisiones en la categoría de energía y comprende un 20.75% de las emisiones totales del Ecuador con 16869,472 Gg CO<sub>2</sub>-eq.

### 3.9 Estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub>

**Tabla 3.22 Resultados de Estimación de CO<sub>2</sub> anualmente**

EMOT	Tipo de emisión	Categoría	Combustible	Segmento	CO <sub>2</sub>	Urbano [t]	Rural [t]	Total [t]
RUTA 1 ~ 2017	Hot Fossil	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	CO <sub>2</sub>	700,45	282,80	983,25
RUTA 2 ~ 2017	Hot Fossil	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	CO <sub>2</sub>	1103,08	92,99	1196,07
RUTA 4 ~ 2017	Hot Fossil	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	CO <sub>2</sub>	3049,41	426,76	3476,17
RUTA 5 ~ 2017	Hot Fossil	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	CO <sub>2</sub>	1612,39	336,03	1948,43
								<b>7603,92</b>

**Tabla 3.23 Resultados de Estimación de PM<sub>2.5</sub> anualmente**

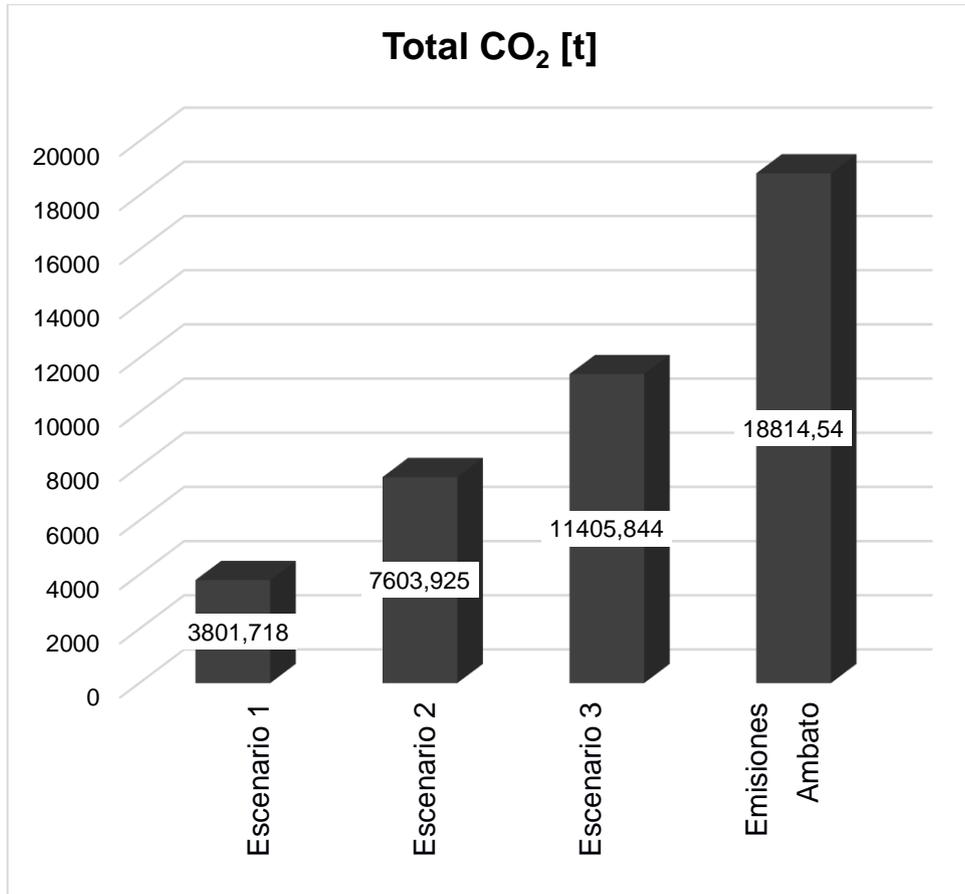
EMOT	Tipo de emisión	Categoría	Combustible	Segmento	PM 2.5	Urbano [t]	Rural [t]	Total [t]
RUTA 1 ~ 2017	Hot	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	PM 2.5	0,150	0,064	0,215
RUTA 2 ~ 2017	Hot	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	PM 2.5	0,237	0,021	0,258
RUTA 4 ~ 2017	Hot	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	PM 2.5	0,668	0,095	0,763
RUTA 5 ~ 2017	Hot	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	PM 2.5	0,364	0,075	0,440
								<b>1,675</b>

Las emisiones de CO<sub>2</sub> por parte de los buses de transporte público en Durán representan aproximadamente el 0,045% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector transporte a nivel nacional según la tercera comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático; los habitantes del cantón de Durán respecto a los habitantes del Ecuador representa el 2% aproximadamente; las emisiones per-cápita de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> con respecto a los habitantes de Durán son 25,95 kg anuales y 5,72 g anuales respectivamente, por otra parte las emisiones en un estudio realizado en Ambato para el año 2015 presenta que las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> per-cápita habitantes de Ambato en el año 2015 corresponden a 51,54 kg anuales y 13,37 g anuales respectivamente (Ceballos, 2017), conociendo que la flota de buses de transporte urbano de Ambato es de 361 buses mientras que la de Durán es de 84 para el transporte interno con buses con similares normativas de emisión siendo estas EURO II Y EURO III.

Por otra parte, las emisiones de CO<sub>2</sub> por parte del sector transporte en Ecuador corresponde a 16869,47 Gg dando una contaminación per-cápita con respecto a los habitantes de Ecuador en el año 2012 año que fue realizado el estudio de 1093,9 kg anuales.

**Tabla 3.24 Contaminación per cápita de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub>**

	<b>HABITANTES</b>	<b>CO<sub>2</sub> (t)</b>	<b>PM 2.5 (t)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (t) per cápita</b>	<b>PM 2.5 (g) per cápita</b>	<b>Número de buses</b>
<b>Transporte público Durán</b>	293005	7603,92	1,68	0,026	5,72	84
<b>Transporte público Ambato</b>	365072	18814,54	4,88	0,052	13,37	361
<b>Transporte general en Ecuador</b>	15420000	16869472,00		1,094		



**Figura 3.11 Diferentes escenarios de Emisiones de CO<sub>2</sub> de flota EMOT de Durán vs Emisiones de CO<sub>2</sub> de buses de Ambato**

Notas:

Escenario 1 descripción: 50% del consumo de combustible más próximo de la flota EMOT.

Escenario 2 descripción: Consumo de combustible más próximo de la flota EMOT.

Escenario 3 descripción: 150% del consumo de combustible más próximo de la flota EMOT.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> por parte de la flota EMOT son aproximadamente 7603,9 toneladas en las condiciones normales de operación para el año 2017. En una evaluación de la contaminación producida por la flota de transporte interno en Durán para un peor escenario con mayor cantidad de consumo de combustible se estableció que el consumo de combustible sea un 50% más del actual obteniendo una cantidad de emisiones de 11405,8 toneladas la cual al ser comparado con las emisiones producidas por la flota de buses de Ambato que fue de 18814,5 toneladas, sigue siendo inferior en un 39,37%. Considerando que la flota de buses internos de Durán es aproximadamente 4 veces menor que los de la ciudad de Ambato, podemos inferir que los buses de la flota interna de Durán contaminan mucho más que los de Ambato. Sin embargo, respecto al transporte interno, Durán esta menos contaminado.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- ❖ La flota de buses de Transurban y UrbaDurán siguen 4 tipos de rutas. La decisión de cual bus sigue la ruta 1 ó 2 o la ruta 3 ó 4 es aleatoria. Para lo cual, es necesario fijar actividades fijas de cada bus en relación con la disposición de buses en un día, permitiendo registrar variables como la distancia recorrida por el bus en cada vuelta dentro de la ruta y el combustible anual consumido por flota, ya que esta segunda es la variable más sensible dentro de la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> según COPERT V.

El modelo COPERT V para buses diseñados según la normativa europea permitió estimar las emisiones de 7603,92 t de CO<sub>2</sub> y 1,675 t de PM<sub>2.5</sub>, del transporte interno de Durán, dado que la mayoría de los buses son de fabricación europea. Se obtuvo que las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq por las emisiones de CO<sub>2</sub> es 0,026 t per cápita y su PM<sub>2.5</sub> es 5,72 g per cápita.

La calidad del diésel premium de uso vehicular distribuido por PETROECUADOR E.P. presenta altos niveles en contenido de azufre, lo cual es la principal limitante en la importación de buses que implementen normativa de emisión Superior a Euro III, evitando así que la flota de EMOT pueda ser renovada en búsqueda de buses que emitan menor cantidad de contaminantes como el PM<sub>2.5</sub>.

- ❖ El software COPERT V fue desarrollado para estimación de emisiones vehiculares en Europa, teniendo en cuenta las diferencias climáticas entre regiones, estas características no inciden en la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub>, lo que permite el uso de este software en el cálculo de emisiones de vehículos independiente de la región que está siendo objeto de estudio.

- ❖ La variable de entrada que tiene mayor influencia sobre la estimación de emisiones es el consumo de combustible, para lo cual se recomienda que EMOT haga un seguimiento de este consumo para hacer una estimación más precisa.
- ❖ Las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el transporte público interno de Durán representan el 0,045% en relación a las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el sector transporte a nivel nacional según las cifras registradas en la Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a La Convención Marco de Las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; por otra parte los habitantes de Durán con respecto a Ecuador representan el 2%, en una evaluación per cápita de las emisiones se evidencia que los buses de transporte público no son la principal fuente de emisión de CO<sub>2</sub> dentro del Sector transporte de la categoría Energía.

### **Recomendaciones**

- ❖ Las emisiones de PM<sub>2.5</sub> por parte del sector transporte, pueden disminuir ante la sustitución de vehículos que implementen normativa EURO VI para lo cual es necesario mejorar la calidad del combustible ya que este es la principal limitante para la actualización de los vehículos dentro del Ecuador.
- ❖ Realizar un estudio con la flota de buses intercantonal de Durán utilizando la metodología propuesta por la IPCC y el modelo COPERT V a fin de garantizar la coherencia de los resultados obtenidos en este trabajo y compararlos respecto a los emitidos por una flota con mayor número de buses.
- ❖ Es posible alcanzar una mayor exactitud en los resultados obtenidos en este trabajo, para ello es necesario ajustes en los factores de emisión, además de investigación de mayor cantidad de datos, requeridos por el Modelo COPERT V en el nivel 3.

## REFERENCIAS

Agarwal, S. K. (2009). *Air Pollution*.

Alexander Merkel. (2017). Climate Data.

Billiet, W. (1979). *Entretimiento y reparación de motores de automóvil*.

CAFE, W. G. (2004). Second Position Paper on Particulate Matter CAFE Working Group on Particulate Matter.

Calla, L. (2017). Inventario de emisiones de fuentes móviles con una distribución espacial y temporal para el área metropolitana de Cochabamba, Bolivia. Retrieved from [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892018000100005](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892018000100005)

Ceballos, J. (2017). Simulation of fuel consumption and emissions of the public transportation fleet in ambato (ecuador) with copert 4., (February 2016). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32397.54247>

Cheremisinoff, N. P. (2011). *Pollution Management and Responsible Care*. Waste. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381475-3.10031-2>

Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2017). Clasificación de los contaminantes del aire ambiente. Retrieved from <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente>

Davies, Waldron.; Harnisch, Jochen.; Lucon, Oswaldo.; Mckibbon, Scott.; Saile, Sharon.; Wagner, Fabian y Walsh, M. (2006). CAPÍTULO 3. Combustión Móvil. *Directrices Del IPCC de 2006 Para Los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero*, 78.

Driscoll, T., Steenland, K., Nelson, D. I., Leigh, J., Hoy, R. F., Liao, S., ... Knight, D. (2012). Alpha-1-antitrypsin deficient man presenting with lung function decline

associated with dust exposure: a case report. *Brisbane, Queensland University of Technology*, 38(3), 1511–1528. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.01.014>

EP PetroEcuador. (2013). “*PROVISIÓN DE ACEITES , LUBRICANTES Y GRASAS EN SUS DIFERENTES TIPOS Y PRESENTACIONES CON MARCA PROPIA , ASESORIA TÉCNICA Y COMERCIAL PARA LA COMERCIALIZACIÓN POR EP PETROECUADOR .*”

Finnish Meteorological Institute (FMI), University of Helsinki (UHEL), Finnish Environment Institute (SYKE), Helsinki, F., & International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, A. (2013). Mitigation of Arctic warming by controlling European black carbon emissions, 1–4.

Green House Protocol. (2015). Global Warming Potential Values (AR5). *Greenhouse Gas Protocol*, 2014(1995), 2–5. Retrieved from [http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values](http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%28Feb%2016%29_1.pdf) (Feb 16 2016).pdf

Hernández, M., Encalada, M., & Molina, S. (2010). Plan Nacional de Calidad del Aire. *Ministerio Del Medio Ambiente*, 1(Reintegración Comunitaria), 5–90.

HINO. (2012). HINO BUS.

ICCT. (2014). Actualización normativa: Regulaciones sobre emisiones de vehículos pesados en México, 9. Retrieved from <http://www.theicct.org/mexico-nom-044-update-dec2014-esp>

INECC. (2008). Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares, 35–52.

IPCC. (2017). User Manual for WEB application of Database on greenhouse gas emission factor.

IPCC. (2018). Emission factor database. Retrieved from <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>

- Jeremy Colls, A. T. (2010). *Air Pollution: Measurement, Modelling and Mitigation, Third Edition*.
- Linares, C., & Díaz, J. (2009). Efecto de las partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM<sub>2,5</sub>) sobre los ingresos hospitalarios en niños menores de 10 años en Madrid. *Gaceta Sanitaria*, 23(3), 192–197. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2008.04.006>
- Ministerio de Agricultura y Pesca Alimentación y Medio Ambiente. (2015). Resultados de la COP 21. Retrieved from <http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/cumbre-cambio-climatico-cop21/resultados-cop-21-paris/default.aspx>
- Ministerio del Ambiente. (2014). Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire , de los cantones Ambato , Riobamba , Santo Domingo de los Colorados , Latacunga , Ibarra , Manta , Portoviejo , Esmeraldas y Milagro, 3, 124. Retrieved from <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/Libro-Resumen-Inventario-13-02-2014-prensa.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Primer Informe Bienal de Actualización de Ecuador*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Ministerio del Ambiente - MAE. (2017). Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 630.
- Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2017). *Inventarios de emisiones atmosféricas*. Retrieved from [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)
- National Research Council, Division on Earth and Life Studies, Transportation Research Board, Board on Environmental Studies and Toxicology, C. on V. E. I. and M. P. (2001). *Evaluating Vehicle Emissions Inspection and Maintenance Programs*.
- Office of mobile source air pollution control. (1983). *Heavy Duty Engines (1983 and Later)*

*Emission Regulations: Environmental.*

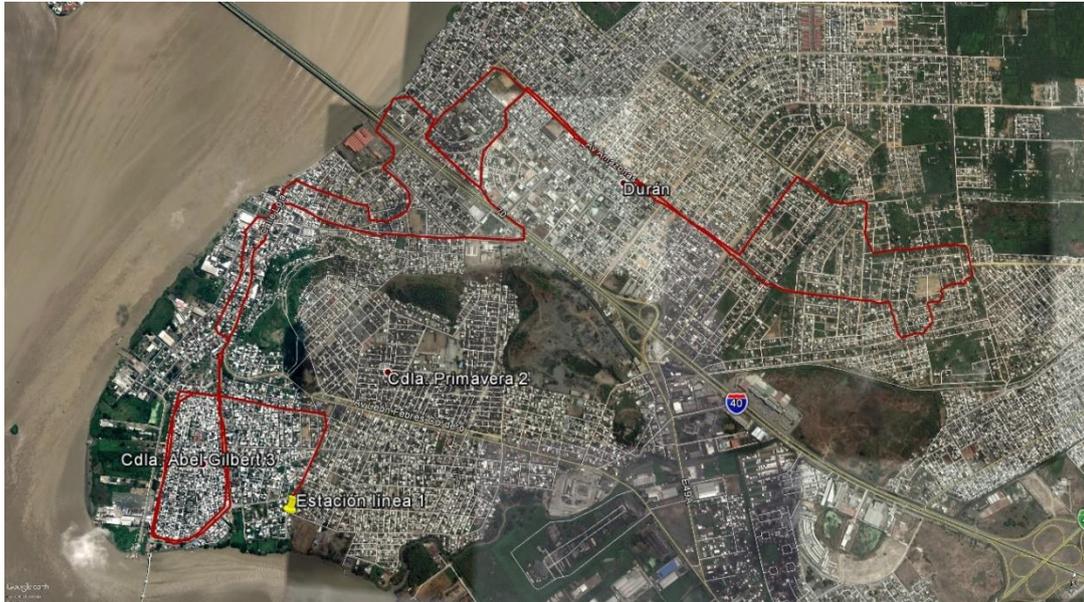
- OMS. (2005). *Organización mundial de la salud. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.*
- Picabea, A. (2010). *Mantenimiento mecánico preventivo del vehículo.*
- Rao. (1989). *Air Pollution.* McGraw-Hill.
- Registro oficial de Ecuador. (2015). Acuerdo No. 061 Reforma Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislación Secundaria. *Acuerdo No. 061 Reforma Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislación Secundaria*, 80. Retrieved from <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA++R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>
- Reynolds, A. ., & Broderick, B. . (2000). Development of an emissions inventory model for mobile sources. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 5(2), 77–101. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(99\)00025-5](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(99)00025-5)
- Rypdal, K., & Paciorek, N. (2006). CAPÍTULO 1. Introducción a las directrices de 2006. *Directrices Del IPPC de 2006 Para Los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero*, 1–13.
- SEDEMA. (2016). Inventario de emisiones de la CDMX. *Secretaria Del Medio Ambiente Del Gobierno de La Ciudad de México*, 11–130. Retrieved from <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-cdmx2014-2/mobile/IE-CDMX-2014.pdf>
- SEMARNAT-INE-WGA. (2009). *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas.*
- Seris, R. (2017). *ESTIMACIÓN DEL CARBONO NEGRO EMITIDO POR TRANSESPOL E.P Y SU POSIBLE IMPACTO EN EL CAMBIO CLIMÁTICO.*
- Stephen T. Holgate, Hillel S. Koren, Jonathan M. Samet, R. L. M. (1999). *Air Pollution*

*and Health.*

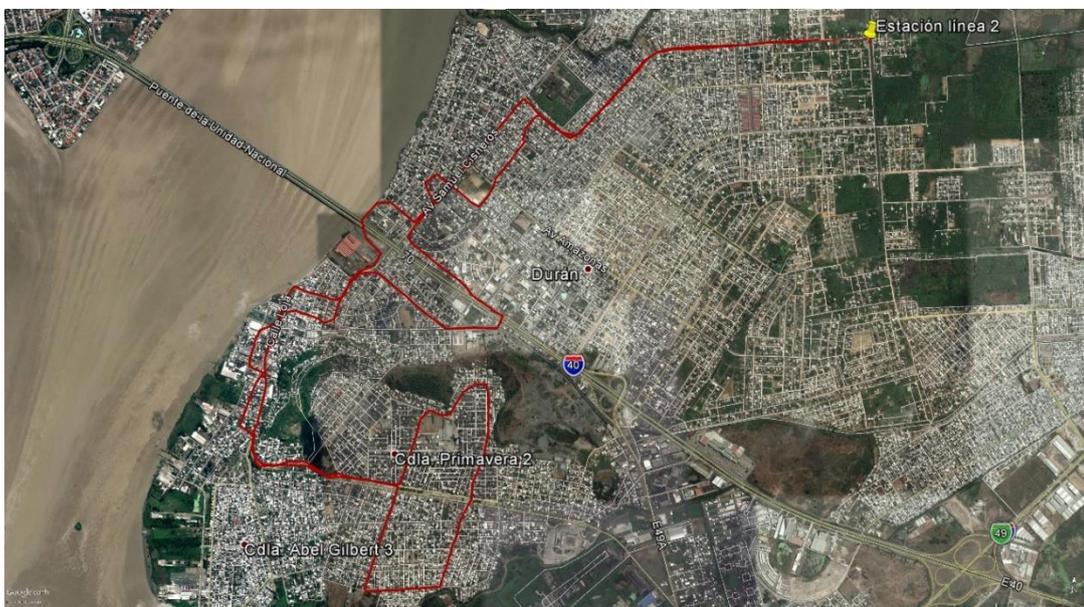
- Sundblad, E. L., Biel, A., & Gärling, T. (2014). Intention to change activities that reduce carbon dioxide emissions related to worry about global climate change consequences. *Revue Europeenne de Psychologie Appliquee*, 64(1), 13–17. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2011.12.001>
- Tobergte, D. R., & Curtis, S. (2013). Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México Volumen. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- U.S. EPA. (2014). EPA Releases MOVES2014 Mobile Source Emissions Model, (July). <https://doi.org/10.1080/10640260590932904>
- US EPA. (2008a). Direct Emissions from Stationary Combustion Sources. *Energy Economics*, 34(5), 1580–1588. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.11.013>
- US EPA. (2008b). *Sulfur Dioxide Emissions*.
- US EPA. (2011). *Particulate Matter Emissions*.
- US EPA. (2014). Policy Guidance on the Use of MOVES2014 for State Implementation Plan Development, Transportation Conformity, and Other Purposes.
- US EPA. (2015). *EPA 's Report on the Environment*.
- Valencia, L. (2013). Caracterización De Mezclas De Diesel-Biodiesel Orientadas a Disminuir Las Emisiones Contaminantes Provocadas Por Fuentes Móviles, 1–148. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Vallero, D. (2014). *Air Pollutant Emissions. Fundamentals of Air Pollution*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-401733-7.00029-3>
- WHO. (2016). WHO Global Urban Ambient Air Pollution Database (update 2016). Retrieved from [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/cities/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/)
- WLPGA. (2010). Clearing the Air : Black Carbon , Climate Policy and Lp Gas.

# ANEXOS

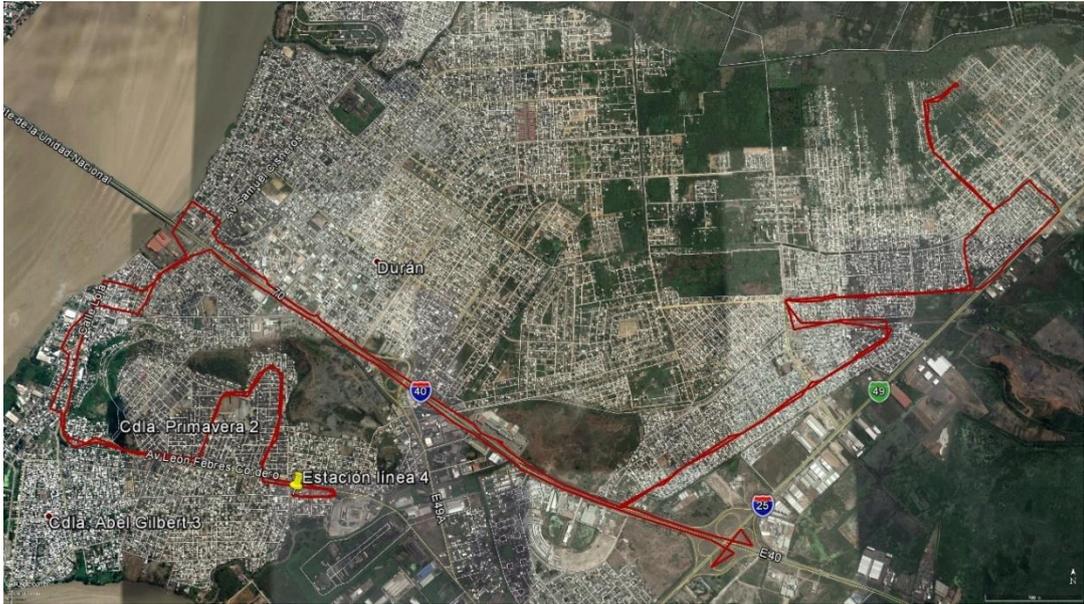
## ANEXO RUTAS



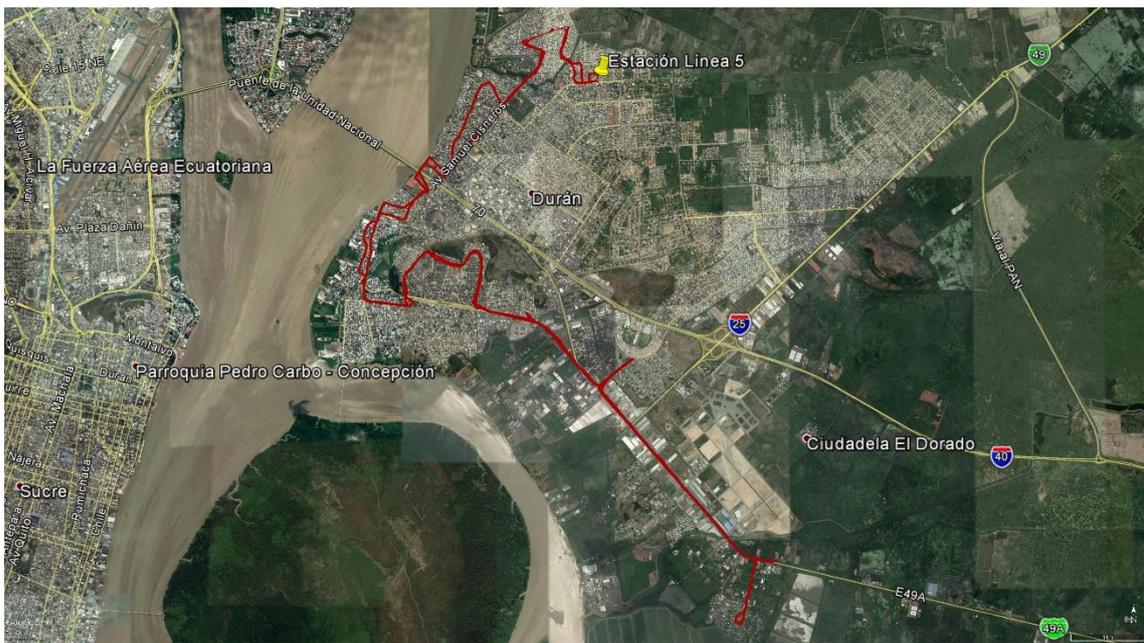
Anexo: Figura 1 Ruta 1 de transporte urbano interno de Durán



Anexo: Figura 2 Ruta 2 de transporte urbano interno de Durán



**Anexo: Figura 3 Ruta 4 de transporte urbano interno de Durán**



**Anexo: Figura 4 Ruta 5 de transporte urbano interno de Durán**



**Anexo Tabla A. 4 Emisiones de PM<sub>2.5</sub> de la ruta 2**

Tipo de emisión	Categoría	Combustible	Segmento	Euro Standard	PM <sub>2.5</sub>	Urbano [t]	Rural [t]	Total [t]
Hot	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro II	PM <sub>2.5</sub>	0,196472391	0,01706387	0,213536261
Hot	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro III	PM <sub>2.5</sub>	0,040606321	0,00400351	0,044609835
								0,258146096

**Anexo Tabla A. 5 Emisiones de CO<sub>2</sub> de la ruta 4**

Tipo de emisión	Categoría	Combustible	Segmento	Euro Standard	CO <sub>2</sub>	Urbano [t]	Rural [t]	Total [t]
Hot Fossil	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro II	CO <sub>2</sub>	2285,623379	319,362469	2604,985848
Hot Fossil	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro III	CO <sub>2</sub>	763,7909202	107,397522	871,1884419
								3476,174289

**Anexo Tabla A. 6 Emisiones de PM<sub>2.5</sub> de la ruta 4**

Tipo de emisión	Categoría	Combustible	Segmento	Euro Standard	PM <sub>2.5</sub>	Urbano [t]	Rural [t]	Total [t]
Hot	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro II	PM <sub>2.5</sub>	0,527401923	0,07155379	0,598955711
Hot	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro III	PM <sub>2.5</sub>	0,140799074	0,02309759	0,16389666
								0,762852371

**Anexo Tabla A. 7 Emisiones de CO<sub>2</sub> de la ruta 5**

Tipo de emisión	Categoría	Combustible	Segmento	Euro Standard	CO <sub>2</sub>	Urbano [t]	Rural [t]	Total [t]
Hot Fossil	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro II	CO <sub>2</sub>	1612,39325	336,034657	1948,427907

**Anexo Tabla A. 8 Emisiones de PM<sub>2.5</sub> de la ruta 5**

<b>Tipo de emisión</b>	<b>Categoría</b>	<b>Combustible</b>	<b>Segmento</b>	<b>Euro Standard</b>	<b>PM<sub>2.5</sub></b>	<b>Urbano [t]</b>	<b>Rural [t]</b>	<b>Total [t]</b>
<b>Hot</b>	Buses	Diésel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro II	PM <sub>2.5</sub>	0,364312003	0,07528922	0,439601228

## ANEXOS FIGURAS

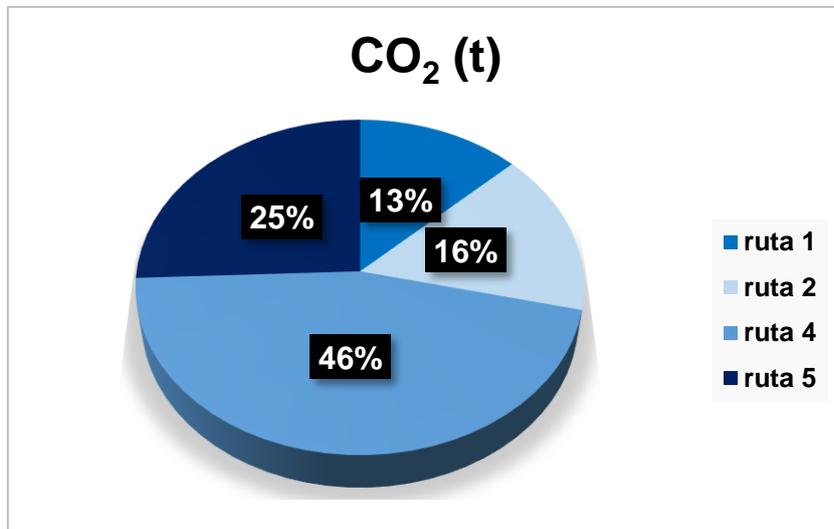


Figura A. 1 Emisión de CO<sub>2</sub> por ruta

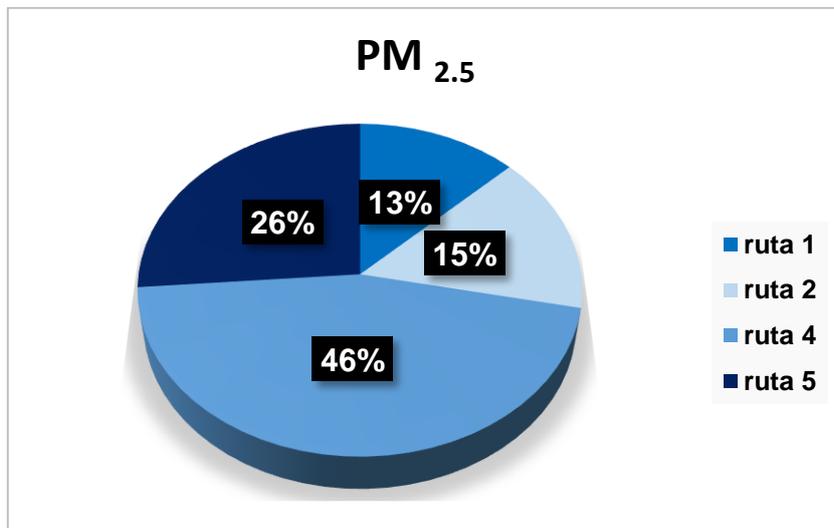


Figura A. 2 Emisión de PM<sub>2.5</sub> por ruta

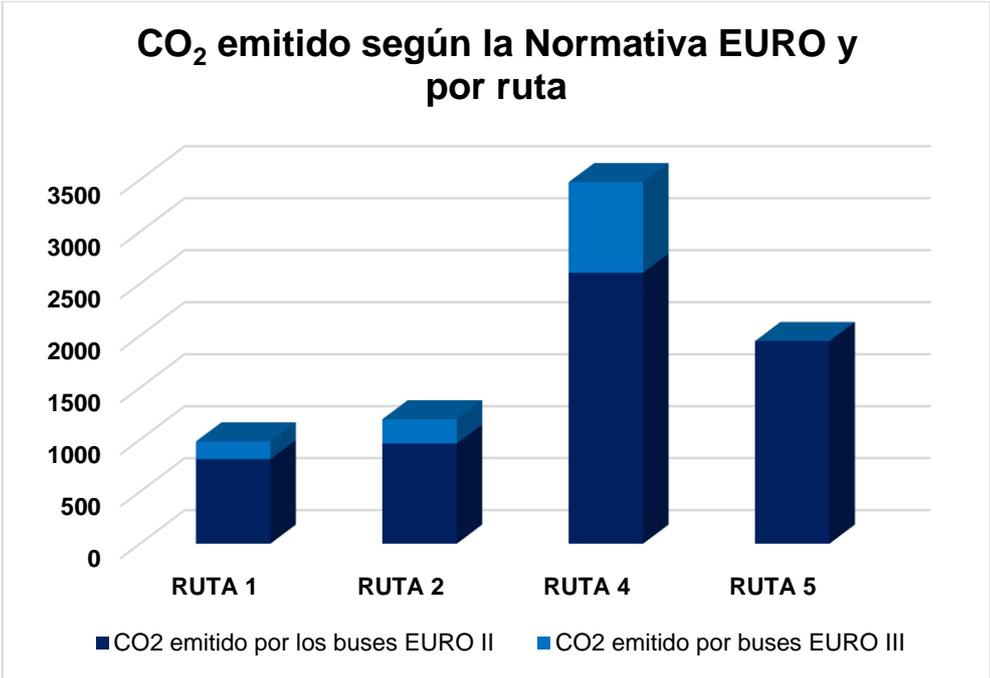


Figura A. 3 CO<sub>2</sub> emitido según la Normativa EURO y por ruta

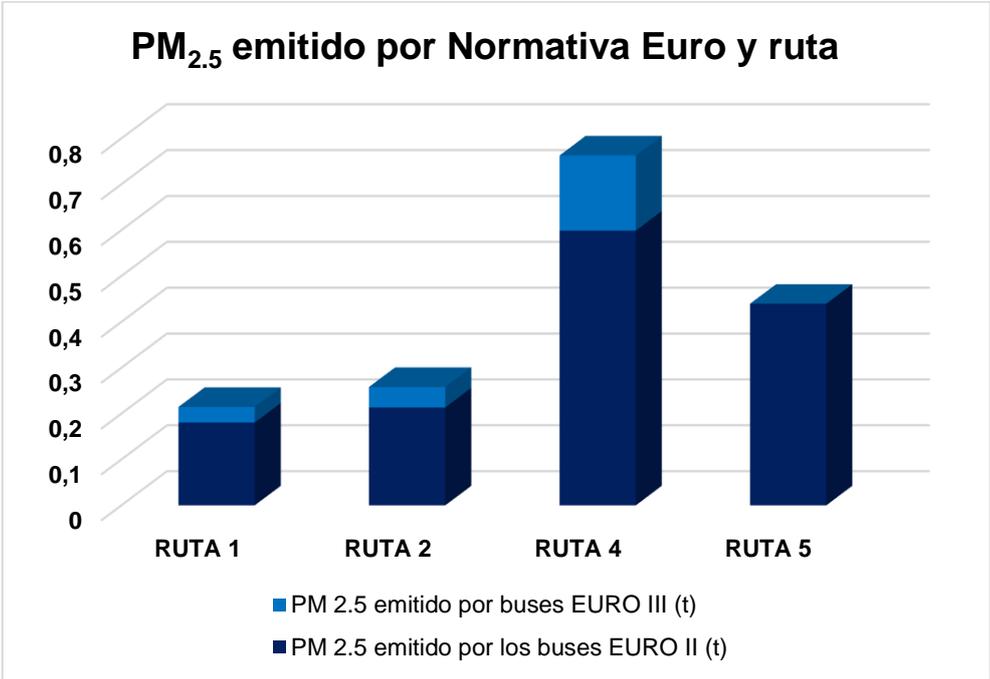


Figura A. 4 PM<sub>2.5</sub> emitido según la Normativa EURO y por ruta