

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“DETERMINACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS VEHICULARES  
DE LA CATEGORÍA MOTO-TAXIS, EN LA AVENIDA CENTRAL DE  
VILLA EL SALVADOR PARA LA ESTACION DE VERANO 2019”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

CCACCYA CCACCYA, DARIO

**Villa El Salvador  
2019**

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a las futuras generaciones de  
estudiantes e investigadores y en especial a Isis  
Huapaya Torres, quien estuvo siempre a mi lado  
en la realización de este trabajo.*

## AGRADECIMIENTO

Al Msc. Ing. Cristóbal Pinche Laurre, por brindarme su apoyo, amistad y asesoría profesional durante el tiempo de mi formación profesional como Ingeniero Ambiental, así como en la realización de este trabajo.

A mis padres y hermanos por estar ahí día con día brindándome la calidez de un hogar y apoyo incondicional.

A una persona muy especial quien es Isis Huapaya Torres estudiante de Ingeniería Ambiental quien está a mi lado en todo momento ayudándome y apoyándome de forma incondicional.

A mis excelentes profesores y amigos María Amelia Sifuentes Torres, Carmen Aqueje Daposo, Carmen Ruiz Huamán, Edgar Marcelino Tarmeño, Alfonso Apesteguía Infantes, Willy Adatao Medina, Horacio Acosta Suasnabar, Agerico Pantoja Cadillo, Carmen Terry Borjas, Odón Sánchez Ccoyllo, Luis Gamarra Chavarry y Julio Cesar Bracho Pérez, de la carrera de ingeniería ambiental que me brindaron su amistad, conocimientos y motivación durante mi formación para llegar hasta donde estoy el día de hoy.

# INDICE

<b>INTRODUCCION</b> .....	viii
<b>CAPITULO I: PLANIFICACION DEL TRABAJO</b> .....	3
1.1. Descripción de la Realidad Problemática .....	3
1.2. Justificación del Problema.....	4
1.3. Delimitación del Proyecto .....	5
1.3.1. Teórica.....	5
1.3.2. Temporal .....	5
1.3.3. Espacial.....	5
1.4. Formulación del Problema .....	6
1.4.1. Problema General .....	6
1.4.2. Problemas Específicos .....	6
1.5. Objetivos .....	6
1.5.1. Objetivo General .....	6
1.5.2. Objetivos Específicos.....	6
<b>CAPITULO II: MARCO TEORICO</b> .....	8
2.1 Antecedentes .....	8
2.1.1. Internacionales.....	8
2.1.2. Nacionales .....	10
2.2 Bases Teóricas .....	11
2.2.1 Clasificación de fuentes de emisiones.....	11
2.2.2 Inventario de emisiones atmosféricas .....	12
2.2.2.1 Factor de emisión .....	13
2.2.2.2 Factor o nivel de actividad .....	14
2.2.2.3 Niveles de estimación de emisiones en los inventarios.....	14
2.2.2.4 Nivel de incertidumbre.....	16
2.2.3 Combustión en los motores de las moto-taxis.....	18
2.2.3.1 Categoría vehicular moto-taxis .....	19
2.2.3.2 Especificaciones técnicas de la categoría vehicular moto-taxis.....	22
2.2.3.3 Desagregación de emisiones para la categoría vehicular moto-taxis.....	24
2.2.3.4 Agentes contaminantes presentes en las emisiones considerados para este estudio	25
2.2.3.4.1 Monóxido de carbono (CO).....	25
2.2.3.4.2 Hidrocarburos totales (HCT).....	26
2.2.3.4.3 Óxidos de nitrógeno (NOX) .....	27

2.2.3.4.4	Óxidos de azufre (SO <sub>2</sub> ).....	27
2.2.3.4.5	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).....	27
2.2.3.4.6	Metano (CH <sub>4</sub> ).....	28
2.2.3.4.7	Óxido nitroso(N <sub>2</sub> O).....	28
2.2.3.4.8	Amoniacó (NH <sub>3</sub> ).....	29
2.2.3.4.9	Material Particulado PM <sub>10</sub> .....	29
2.2.3.4.10	Material Particulado PM <sub>2.5</sub> .....	30
2.3	Definición de Términos Básicos y Acrónimos.....	30
<b>CAPITULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO.....</b>		<b>36</b>
3.1	Modelo de Solución Propuesto.....	36
3.1.1	Metodología para la estimación de emisiones para la categoría moto-taxis. ....	36
3.1.2	Metodología para la obtención de datos del flujo vehicular para la categoría moto-taxis	37
3.1.3	Desagregación de las emisiones de las moto-taxis.....	38
3.1.3.1	Metodología para la estimación de emisiones en caliente.....	38
3.1.3.1.1	Metodología para la estimación de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	39
3.1.3.1.2	Metodología para la estimación de emisiones de SO <sub>2</sub> .....	40
3.1.3.1.3	Factores de emisión para las emisiones en caliente.....	40
3.1.3.2	Metodología para la estimación de emisiones por partidas en frío.....	42
3.1.3.3	Metodología para la estimación de emisiones evaporativas.....	44
3.1.3.3.1	Cálculo de emisiones evaporativas por pérdidas durante el recorrido.....	45
3.1.3.3.2	Calculo de emisiones evaporativas durante el día.....	46
3.1.3.3.3	Calculo de emisiones evaporativas por detenciones en caliente.....	47
3.1.3.4	Metodología para la estimación de emisiones por desgaste.....	49
3.1.3.5	Metodología para la estimación de emisiones por polvo.....	50
3.2	Resultados.....	52
3.2.1	Análisis del comportamiento del flujo vehicular.....	52
3.2.2	Análisis de la composición del flujo vehicular.....	56
3.2.3	Estimación de emisiones generadas por las Moto-taxis.....	58
3.2.3.1.	Emisiones en caliente.....	59
3.2.3.2.	Emisiones por partidas en frío.....	60
3.2.3.3.	Emisiones evaporativas.....	61
3.2.3.4.	Emisiones por desgaste.....	63
3.2.3.5.	Emisiones por polvo.....	63
3.2.3.6.	Emisiones totales.....	64
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>67</b>

<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>68</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>73</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de Decisiones para Elaborar un Inventario de Emisiones (EMEP-EEA,2016) .....	15
Figura 2. Proceso de Emisión de Contaminantes en Vehículos motorizados convencionales (INE-SEMARNAT, 2005) .....	18
Figura 3. Moto-taxi de Motor de 4 Tiempos (Bajaj Auto Ltd, 2016) .....	20
Figura 4. Gráfico de Barras del Flujo Vehicular .....	53
Figura 5. Gráfico de Barras del Flujo Vehicular de las Categorías Diferentes a las Moto-taxis .....	54
Figura 6. Gráfico de Barras del Flujo Vehicular Según Dirección de Recorrido .....	55
Figura 7. Gráfico del Flujo Vehicular Horario .....	55
Figura 8. Zona de estudio (Google Earth, 2019).....	73
Figura 9. Sección de la Av. Central. ....	74
Figura 10. Conteo mecánico en el cruce de las avenidas Central y Bolívar. ....	74
Figura 11. Cruce de las avenidas Central y Cesar Vallejo. ....	75

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones Técnicas del motor de Moto-taxi de 4 Tiempos.....	22
Tabla 2. Especificaciones Técnicas del Vehículo, Frenos y Neumáticos, de Moto-taxi de 4 Tiempos.....	23
Tabla 3. Especificaciones Técnicas del motor de Moto-taxi de 2 Tiempos.....	23
Tabla 4. Especificaciones Técnicas del Vehículo, Frenos y Neumáticos, de Moto-taxi de 2 Tiempos.....	24
Tabla 5. Factores de Emisión para Motocicletas de Motor de 4 Tiempos, en Base a la capacidad del Motor para Velocidades Menores a 60km/h.....	41
Tabla 6. Factores de Emisión para Motocicletas de Motor de 2 Tiempos, en Base a la capacidad del Motor para Velocidades Menores a 60km/h.....	42
Tabla 7. Razon de Emisión efrío/ecal.....	44
Tabla 8. Factores de Emisión Evaporativas Durante el Recorrido.....	46
Tabla 9. Factores de Emisión Evaporativas Durante el Día.....	47
Tabla 10. Factores de Emisión Evaporativas por Detenciones en Caliente.....	48
Tabla 11. Factores de Emisión de Material Particulado de Descargas Provenientes de Desgaste de Frenos, Neumáticos y de Superficie.....	49
Tabla 12. Valores de “K” Según Tamaño de Partícula.....	51
Tabla 13. Carga de Finos “Sp”.....	52
Tabla 14. Peso de Vehículos “W”.....	52
Tabla 15. Composición del Flujo Vehicular Según Categorías y en Porcentajes del Total Vehicular para el Periodo de Estudio.....	57
Tabla 16. Composición del Total de Moto-taxis Según de Tipo de Motor y Tipo de Combustible Usado.....	58
Tabla 17. Estimación de Emisiones en Caliente Proveniente de Moto-taxis en kg.....	59
Tabla 18. Estimación de Emisiones por Partidas en Frio Proveniente de Moto-taxis en kg.....	61
Tabla 19. Estimación de Emisiones Evaporativas Proveniente de Moto-taxis en kg.....	62
Tabla 20. Estimación de Emisiones por Desgaste Proveniente de Moto-taxis en kg.....	63
Tabla 21. Estimación de Emisiones por Polvo Proveniente de Moto-taxis en kg.....	64
Tabla 22. Emisiones Totales Generadas por las Moto-taxis en kg.....	65

## INTRODUCCION

Las emisiones móviles son unas de las fuentes de generación de gases contaminantes atmosféricos más dinámicas que existen en la actualidad, debido a esto es complejo determinarlas con exactitud, saber su comportamiento y dinámica en el ambiente, como sus efectos en la salud humana.

Dentro de las fuentes móviles los parques automotores forman el mayor porcentaje de estas, países desarrollados cuentan ya con políticas para el control y reducción de emisiones generadas por los vehículos que forman parte de los parques automotores, como las normas EURO existentes en la Unión Europea, sin embargo, en países en vías de desarrollo como el nuestro son muchos los trabajos que aún se deben de realizar en materia de control y reducción de emisiones vehiculares.

En el Perú los avances realizados en el tema de políticas de control y reducción de emisiones de emisiones vehiculares han estado ausentes por muchos años, una herramienta importante por desarrollar que cambiaría este escenario es el desarrollo de un inventario de emisiones actualizado, para las principales ciudades del país así como para ciudad de Lima, lo que permitiría poder tomar medidas de evaluación, control y fiscalización en diversos temas de gestión como el orden vehicular, ordenamiento territorial, gestión ambiental entre muchos otros.

El presente trabajo tiene como objetivo estimar las emisiones vehiculares en el distrito de Villa El Salvador de la ciudad de Lima para los vehículos denominados "moto-taxis", vehículos que incrementan exponencialmente su número en muchas ciudades del país en los últimos 15 años en un ambiente de informalidad, debido a la ineficiente gestión municipal y factores socioeconomicos.

Se estableció un tramo de la Avenida Central de Villa El Salvador para estimar los contaminantes primarios Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos Totales (HCT), Óxidos de Nitrógeno (NOX), Óxidos de Azufre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido Nitroso(N<sub>2</sub>O), Amoniac (NH<sub>3</sub>), Material Particulado PM<sub>10</sub> y Material Particulado PM<sub>2.5</sub>, determinando sus volúmenes emitidos a la atmosfera

para un periodo de siete días en horas diurnas, haciendo uso de la Guía de Inventarios de Emisiones 2016 EMEP/EEA, guía de referencia mundial usada por muchos países a nivel mundial.

## **CAPITULO I: PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO**

### **1.1. Descripción de la Realidad Problemática**

El parque automotor de la ciudad de Lima en las últimas dos décadas hasta la fecha ha crecido significativamente sin control alguno por parte de las autoridades e instituciones competentes, esto sumado a la falta de planificación urbana de la ciudad y la carencia del ordenamiento de las unidades de transporte público y privado ha generado un caos vehicular en casi todas las principales vías de la red vial de la ciudad.

A diario se presencia malestar e incomodidad de cientos de miles de usuarios del transporte, no solo por las horas perdidas por el tráfico y congestión vehicular, sino también por la contaminación del aire generada por las emisiones vehiculares muchas de ellas las cuales son perjudiciales a la salud debido a tiempos prolongados de exposición, ya sean generadas por el uso de combustibles que contienen metales pesados, la falta de mantenimiento de los vehículos que están en circulación y/o carencia de dispositivos de control de emisiones en estos, las cuales son ignoradas por los usuarios y peatones de la ciudad.

En Villa El Salvador los vehículos que han crecido en gran número de circulación son los correspondientes a la categoría moto-taxis superando en gran porcentaje la demanda de los usuarios respecto a otras categorías de vehículos como buses o autos, esto debido a factores socioeconómicos, esta categoría no es controlada por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, sino está en la jurisdicción y ámbito municipal, quedando en gestión de la Municipalidad de Villa El Salvador quien es que otorga las licencias de circulación.

De acuerdo a lo indicado es importante contar con datos emisiones de estos vehículos menores para controlar sus emisiones en favor a la contribución de la gestión de la calidad del aire.

## **1.2. Justificación del Problema**

El Perú aún no establece los lineamientos para estandarizar un plan para realizar un inventario de emisiones para ciudad de Lima, que sea representativo a las emisiones reales (inventario nivel 3) y en base a este proponer los nuevos lineamientos y decisiones que deban de tomar las instituciones y autoridades competentes, acciones que pondrían en marcha iniciativas a solucionar temas como zonificación industrial, implementación de una red de modelo transporte, implementación de redes de estaciones de monitoreo ambiental, fiscalización y control ambiental de emisiones, así como ordenamiento del sistema de transporte actual.

Sin embargo, en la práctica entidades como el Ministerio de Telecomunicaciones y Electrónica MTC, el Ministerio del Ambiente MINAM, la Dirección de Gestión y Salud DIGESA, el Organismo de Fiscalización y Evaluación Ambiental OEFA, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI, entre otras entidades relacionadas a la gestión del transporte, industria, salud ambiental, fiscalización ambiental y calidad del aire, vienen trabajando de forma independiente sin concretar algún objetivo significativo para la realización y estandarización de un inventario de emisiones en la ciudad de Lima.

Por eso este estudio propone conocer una muestra y de lo que es implementar una estimación de emisiones atmosféricas para la categoría vehicular moto-taxis para

un tramo de la Avenida Central en el distrito de Villa El Salvador, la cual es parte de un inventario de emisiones en base a metodologías ya establecidas y usadas internacionalmente en países de la región.

### **1.3. Delimitación del Proyecto**

#### **1.3.1. Teórica**

El presente estudio tiene como finalidad, determinar las emisiones que se liberan a la atmosfera, por parte de los vehículos de categoría “moto-taxis” en el distrito de Villa El Salvador, mediante la estimación de emisiones para lo cual se hizo uso de las metodologías presentes en la Guía de Inventarios de Emisiones 2016 EMEP/EEA.

#### **1.3.2. Temporal**

Se midieron los flujos vehiculares de 12 horas diurnas que corresponden de 6:00 am a 6:00pm, estableciendo el punto de medición de flujo vehicular en el cruce de las Avenida Central y Bolívar de Villa El Salvador, realizándose un conteo manual los días 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17 de marzo, días correspondientes a la estación de verano del 2019.

#### **1.3.3. Espacial**

El lugar de ejecución del presente estudio (Ver anexo 1), está ubicado en una sección de la Av. Central vía de doble sentido de dos carriles cada uno, de una longitud de 300 metros comprendida entre la Av. Cesar Vallejo y la Av. Simón Bolívar, entre los límites del sector III grupo 7 y el sector III grupo 1 en el distrito de Villa El Salvador al sur de la ciudad de Lima.

## **1.4. Formulación del Problema**

### **1.4.1. Problema General**

¿Cuáles serán las emisiones que se liberarán a la atmosfera por parte de la categoría vehicular moto-taxis en la Av. Central de Villa El Salvador para el periodo de verano 2019?

### **1.4.2. Problemas Específicos**

- ¿Cuál es el comportamiento del flujo vehicular durante las horas del día en el tramo de la Avenida Central comprendido entre las Avenidas Simón Bolívar y Cesar Vallejo de Villa El Salvador?
- ¿El número de moto-taxis en el tramo de la Avenida Central comprendido entre las Avenidas Simón Bolívar y Cesar Vallejo de Villa El Salvador está ocupando un porcentaje considerable dentro del flujo vehicular?
- ¿El uso de la Guía de Inventarios de Emisiones 2016 EMEP/EEA, permitirá estimar las emisiones generadas por las moto-taxis, debido a la falta de una metodología estandarizada para inventarios de emisiones vehiculares en el Perú?

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Determinar las emisiones que se liberan a la atmosfera por parte de la categoría vehicular moto-taxis en la Av. Central de Villa El Salvador para el periodo de verano 2019.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Determinar el comportamiento del flujo vehicular durante las horas del día en el tramo de la Avenida Central comprendido entre las Avenidas Simón Bolívar y Cesar Vallejo de Villa El Salvador.

- Determinar el porcentaje ocupando por las moto-taxis en el flujo vehicular comprendido en el tramo de la Avenida Central comprendido entre las Avenidas Simón Bolívar y Cesar Vallejo de Villa El Salvador.
- Aplicar las metodologías presentes en la Guía de Inventarios de Emisiones 2016 EMEP/EEA, para estimar las emisiones vehiculares generadas por la categoría moto-taxis.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes**

#### **2.1.1. Internacionales**

**La Agencia Europea del Medio Ambiente a través del Programa Europeo de Seguimiento y Evaluación (EMEP, EEA, 2016)**, realizaron la última versión de la Guía de inventario de emisiones (anteriormente denominada Guía de inventario de emisiones de EMEP CORINAIR), guía ampliamente usada como referencia mundial en la elaboración de inventario de emisiones, la cual brinda información detallada para la estimación de emisiones de origen natural y antropogénicas.

**La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 1995)**, publicaron la compilación de factores de emisiones contaminantes del aire (AP-42)

contiene amplia información sobre más de 200 procesos y sus respectivos factores de emisión, de fuentes emisoras de la contaminación del aire.

**La Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile (CONAMA, 2009)**, realizaron la guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en registro de emisiones y transferencia de contaminantes, financiado por el banco mundial, basada en la guía de inventario de emisiones de la EMEP/EEA del 2016, teniendo como propósito complementar los esfuerzos realizados por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, el Ministerio de Salud, y el Ministerio de Planificación a través de la Secretaría de Planificación de Transporte, y así fortalecer la infraestructura disponible para la estimación de emisiones y estandarizar las metodologías de estimación de emisiones a nivel nacional.

**Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (INE, SEMARNAT, 2005)**, realizó la guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones, en colaboración con la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Asociación de Gobernadores del Oeste (WGA) ambas de los Estados Unidos de América, para impulsar la gestión de calidad del aire y brindar a las autoridades locales y estatales una herramienta impresa que permita homologar esfuerzos para la elaboración, mantenimiento y actualización de inventarios de emisiones en el país.

**El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2017)**, realizó la Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas con el fin de impulsar la gestión de la calidad del aire y lograr niveles de inmisión adecuados para proteger la salud y el ambiente, basada en la guía de inventario de emisiones de la EMEP/EEA del 2016.

**Ministerio de Planificación, Programa de Vialidad y Transporte Urbano de Chile, y la empresa de ingeniería privada DITUC S.A. (MIDEPLAN, SECTRA, DICTUC S.A., 2010)**, realizaron un estudio titulado “Actualización Metodológica MODEN-MODEC para El Gran Santiago” trabajo que consistió en desarrollar un sistema de modelamiento del transporte para la ciudad de Santiago de Chile en base a los modelos MODEM y MODEC que permiten estimar las emisiones de

contaminantes de fuentes móviles así como ampliar el horizonte de elaboración de planes y proyectos de transporte, este trabajo se basó en la guía de inventario de emisiones de la EMEP/EEA del 2016 y la compilación de factores de emisiones contaminantes del aire (AP-42/EPA).

### **2.1.2. Nacionales**

**El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2018)**, realizó en colaboración con especialistas chilenos el estudio titulado “Estudio para la determinación de la ubicación de las estaciones fijas de monitoreo de calidad del aire en provincias” estudio que establece como base para la ubicación de estaciones de monitoreo ambiental, la realización de inventarios de emisiones del tipo nivel 1 en algunas provincias del interior del país, basada en las metodologías de la guía de inventario de emisiones de la EMEP/EEA del 2016 y la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de Todas las Actividades Económicas de las Naciones Unidas (CIIU).

**Dawidowski, Sánchez y Alarcón (2014)**, realizaron y publicaron un informe titulado “Estimación de emisiones vehiculares en Lima Metropolitana” a través del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y en el marco del proyecto Emisiones Sudamericanas, Megaciudades y Clima (SAEMC), en el Módulo emisiones del informe proponen metodologías de estimación de emisiones, para la realización de un inventario de emisiones vehiculares en la ciudad de Lima Metropolitana.

**El ministerio del Ambiente (MINAM, 2014)**, realizó el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero con año base 2012 por sus siglas INGEI 2012, los resultados fueron el total de emisiones/remociones de GEI fueron 171 310 Gigagramos de dióxido de carbono equivalente (Gg CO<sub>2</sub>e), la principal fuente de emisiones de GEI a nivel nacional proviene del sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS), con 86 742 Gg CO<sub>2</sub>e, que representa el 51% del INGEI 2012. Dentro de este sector, la principal fuente de emisiones es la conversión de bosques y pasturas, con 79 772 Gg CO<sub>2</sub>e. El segundo sector con mayor emisión de GEI reportada es Energía, con 44 638 Gg CO<sub>2</sub>e, que representa el 26% del INGEI

2012. Dentro de este sector, destaca la fuente de emisión generada por la combustión de combustibles en el sector Transporte, con 17 847 Gg CO<sub>2</sub>e. El Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero se desarrolló en base a la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático IPPC.

**El ministerio del Ambiente (MINAM, 2014)**, realizó y aprobó la Guía denominada Guía N° 2 Elaboración de reporte anual de gases de efecto invernadero, para el sector Energía y categoría combustión móvil, dicha guía se basa en las metodologías presentes en la guía de inventario de emisiones de la EMEP/EEA del 2016, teniendo un nivel 2 a la hora de presentar las metodologías de estimación.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Clasificación de fuentes de emisiones**

Una emisión atmosférica es una liberación de un compuesto o agente químico, natural o de origen antropogénico, que puede o no generar una alteración en la composición e interacción de la atmosfera de forma directa y de forma indirecta al suelo y el agua en una escala local o continental, pudiendo o no generar impactos negativos en la calidad del aire a la cual están expuestos los seres vivos y el hombre

Las fuentes de emisiones a la atmosfera son de diversos orígenes pueden ser de origen natural o antropogénico, las emisiones se pueden clasificar en base a diferentes criterios, pero de forma simple podemos clasificarla según su origen, en fuentes fijas, móviles y naturales.

Las fuentes fijas son aquellas que son inamovibles y de ellas se genera una descarga que genera una dispersión de la emisión en la atmosfera, estas fuentes a su vez se pueden clasificar por el tipo de fuente en puntuales, difusas o dispersas, de área y naturales, o también según el tipo de actividad industrial según el CIUU en agricultura, ganadería, caza, silvicultura, pesca, explotación de minas y canteras, industrias manufactureras, suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado, distribución de agua; evacuación y tratamiento de aguas residuales, gestión de desechos y actividades de saneamiento ambiental, construcción, comercio al por

mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas, alojamiento y servicios de comida, y entre otras actividades de servicio.

Las fuentes móviles son aquellas que están en desplazamiento, en ellas están presentes los automotores y cualquier vehículo a motor de transporte de cualquier naturaleza, estos pueden ser automóviles, motocicletas, barcos, aviones, ferrocarriles entre otros, también se pueden clasificar según sus categorías o combustible el tipo de combustible que usan para su funcionamiento.

Las fuentes naturales son aquellas que liberan agentes a la atmósfera como productos de procesos biológicos ya sean bióticos o abióticos, sin intervención del hombre de forma directa, incluyen océanos, cuerpos de agua, vegetación, microorganismos presentes en el suelo, relámpagos, biomasa quemada, seres vivos, entre otras (Velasco, Bernabe, 2004; Guenther, et ál, 2000). Aun así, hay otras fuentes naturales influenciadas por el hombre, como lo son los cultivos (Guenther et ál.,1995) o la cría de animales.

### **2.2.2 Inventario de emisiones atmosféricas**

Un inventario de emisiones atmosféricas es un conjunto de datos que se caracterizan y consolidan, mediante sumatorias, las emisiones de contaminantes atmosféricos, de acuerdo con el tipo de fuente y el tipo y cantidad de contaminantes emitidos, en un área geográfica y en un intervalo de tiempo de evaluación determinados (EPA, 1999).

Un inventario de emisiones es un instrumento de gestión de trascendental importancia a la hora de proponer y establecer procesos para la gestión de la calidad del aire, ya que son el punto de partida para la toma de decisiones en temas de ordenamiento territorial, actividades industriales, sistemas de transporte, salud poblacional, y calidad ambiental.

Ya que en la práctica es difícil tener datos de emisiones durante periodos de tiempo determinados para cada tipo de fuentes de emisiones, una forma simple de estimar las emisiones es mediante un inventario, el cual consiste en combinar

información de los procesos de cada actividad (factor o nivel de actividad), con emisiones relacionadas a dichos procesos (factores de emisión) como se expresa en la siguiente ecuación la cual ha sido ajustada para la estimación de emisiones generadas por vehículos motorizados (EMEP, EEA, 2016):

$$E_i = \sum_k (\text{Nivel de actividad} \times FE_{ik})$$

Donde:

$E_i$  : Emisiones (kg) del contaminante tipo "i".

$\text{Nivel de actividad}_k$  : Nivel de actividad para vehículos motorizado categoría "k".

$FE_{ik}$  : Factor de emisión del contaminante tipo "i" para la categoría "k" evaluada (g/km).

### 2.2.2.1 Factor de emisión

Los factores de emisión son valores que relacionan la cantidad de un contaminante que es emitido a la atmosfera, entre unidades de actividad o procesos. Comúnmente se expresan como masa del contaminante emitido a la atmosfera entre un parámetro dimensional del proceso citado, por ejemplo, masa procesada, volumen de combustible consumido, distancia recorrida, consumo de energía, tiempo de la operación de la actividad, unidades de producción (Velasco, Bernabé, 2004).

Para las fuentes móviles, el factor de emisión comúnmente es expresado como la cantidad del contaminante liberado a la atmósfera con relación a la cantidad de combustible consumido o a la distancia recorrida por el vehículo.

En este estudio no profundizaremos en los métodos de obtención para estos factores ya que los métodos llegan a ser complejos según sea el tipo de origen de la emisión que se desea estimar, pero podemos mencionar en forma simple algunos métodos para la obtención de estos en vehículos como son la medición directa a través de analizadores de emisiones de gases utilizados en las pruebas de dinamómetro de chasis, en el caso de vehículos a gasolina y motocicletas, o en un banco de pruebas para motores pesados, en el caso de vehículos a diésel.

Las emisiones también pueden ser estimadas por balance de masas, haciendo la aplicación inversa de modelos de dispersión en condiciones controladas (túneles vehiculares) o, a través de estudios e investigaciones realizados a nivel nacional e internacional, todos estos teniendo en cuenta la categoría vehicular (EMEP, EEA 2016).

### **2.2.2.2 Factor o nivel de actividad**

De acuerdo al factor de emisión para cada fuente, se debe establecer el nivel de actividad o factor de actividad, el cual relaciona el compuesto o contaminante de interés con algún tipo de actividad realizada en un tiempo determinado.

En fuentes móviles vehiculares usualmente el factor de actividad puede corresponder a los kilómetros recorridos o cantidad de combustible utilizado, durante un año u otro intervalo de tiempo evaluado, así también en procesos industriales, puede referirse a la tasa de producción.

En algunas circunstancias cuando no es posible contar con la información de cada una de las fuentes requeridas para estimar el factor de actividad, en esos casos se debe recurrir al uso de métodos de estimación por análisis estadístico, modelos o proyecciones, desde la información que se tenga a disponibilidad. Aunque cabe resaltar que las complejidades de los niveles de actividad que se quieren usar van a estar ligados a la exactitud con la cual se quiere realizar la estimación de emisiones (EMEP, EEA 2016).

### **2.2.2.3 Niveles de estimación de emisiones en los inventarios**

En la siguiente figura 1 se presenta un procedimiento para permitir seleccionar un método para estimar las emisiones vehiculares en autopistas. Este árbol de decisión es aplicable a todas las naciones (EMEP, EEA 2016).

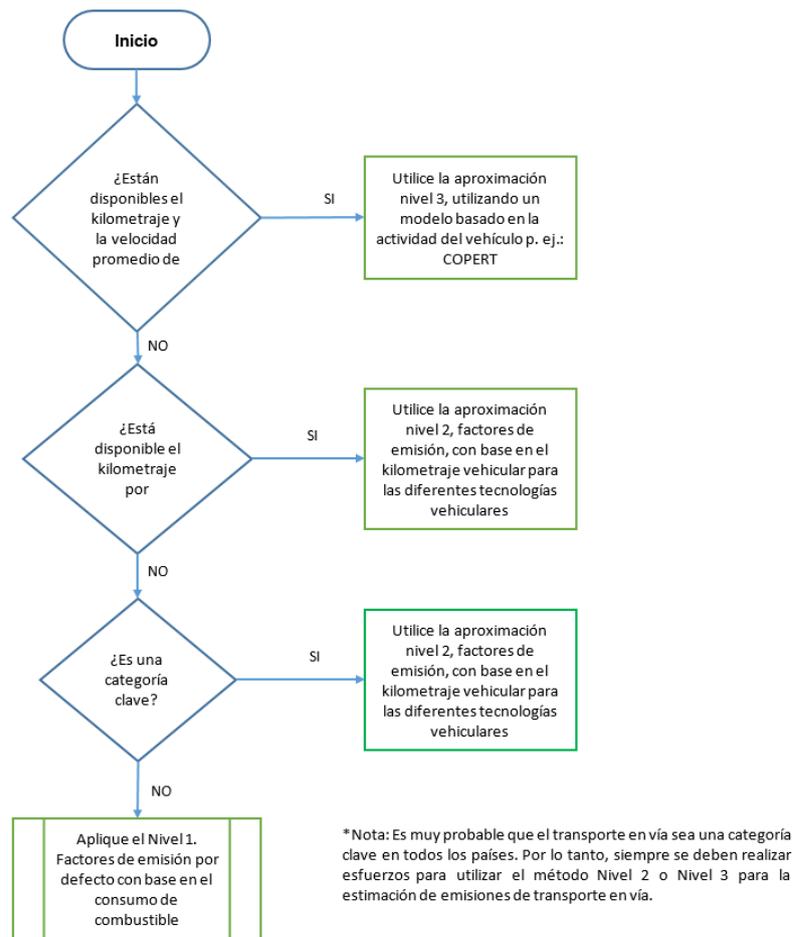


Figura 1. Árbol de Decisiones para Elaborar un Inventario de Emisiones (EMEP-EEA,2016)

Metodología de Nivel 1 utiliza el consumo de combustible como indicador de actividad, en combinación con los factores de emisión promedio específicos del combustible. En la práctica, el transporte por carretera es muy probablemente una categoría clave en todos los países. Por lo tanto, el método de Nivel 1 solo debe utilizarse en ausencia de información más detallada que las estadísticas de combustible (EMEP, EEA 2016).

Metodología de Nivel 2 considera el combustible consumido, pero en las diferentes categorías de vehículos y sus estándares de emisión. Por lo tanto, el usuario debe proporcionar el número de vehículos y el kilometraje anual según sea la tecnología del vehículo (o el número de kilómetros de vehículo por tecnología de este). Estos datos de km de vehículo se multiplican por los factores de emisión de Nivel 2 (EMEP, EEA 2016).

Metodología de Nivel 3, las emisiones de escape se calculan utilizando una combinación de datos técnicos firmes (como los factores de emisión relacionados a la velocidad del vehículo) y datos de actividad (como el flujo vehicular, el número de paradas del vehículo, temperatura del motor, entre otras) esta metodología se le denomina COPERT.

#### **2.2.2.4 Nivel de incertidumbre**

Los factores de emisión de Nivel 1 y Nivel 2 se han calculado a partir de factores de emisión detallados y datos de actividad, utilizando el método de Nivel 3. Los factores de emisión de Nivel 1 y Nivel 2 tendrán, por lo tanto, un mayor nivel de incertidumbre que los del Nivel 3 (EMEP, EEA 2016).

Los factores de emisión de Nivel 1 se han derivado de la metodología de Nivel 3 utilizando datos de la flota de 1995 para la UE-15. Los límites superiores de los rangos establecidos en los factores de emisión corresponden a una flota de tecnología no controlada típica (antes del euro), y el límite inferior del rango corresponde a una flota promedio de EU-15 en 2005. La idoneidad de estos factores de emisión para un país y el año en particular dependen de la similitud entre la flota nacional y los supuestos utilizados para derivar los factores de emisión del nivel (EMEP, EEA 2016).

Los factores de emisión de Nivel 2 se han calculado en base a las condiciones de conducción y temperatura promedio para la UE-15 en 2005. Estos factores de emisión suponen promedios de millas y velocidades de conducción urbana, rural y en carretera para la UE-15. Una vez más, la idoneidad de estos factores de emisión depende de la similitud entre las condiciones de conducción nacionales y la media de la UE-15 (EMEP, EEA 2016).

Los factores de emisión de Nivel 3 se han derivado de datos experimentales (medidos) recopilados en una variedad de programas científicos. Los factores de emisión para vehículos de pasajeros y vehículos comerciales ligeros de tecnología antigua se tomaron de actividades anteriores de COPERT / CORINAIR (Eggleston et al., 1989), mientras que las emisiones de vehículos más recientes se calculan sobre la base de datos del proyecto Artemis. (Boulter y Barlow, 2005; Boulter y McCrae,

2007). Los factores de emisión para ciclomotores y motocicletas se derivan de un estudio sobre la evaluación del impacto de las emisiones de dos ruedas (Ntziachristos et al., 2004). Además, los factores de emisión de los vehículos de pasajeros Euro 4 diésel se originan a partir de un análisis en condiciones calientes del motor, del conjunto de datos Artemis, enriquecido con más mediciones (Ntziachristos et al., 2007).

Los factores de emisión propuestos para la metodología de Nivel 3 son funciones del tipo de vehículo (estándar de emisión, combustible, capacidad o peso) y velocidad de desplazamiento. Estos se han deducido sobre la base de un gran número de datos experimentales, es decir, vehículos individuales que se han medido en diferentes laboratorios en Europa y su rendimiento de emisiones se ha resumido en una base de datos. Los factores de emisión por clase de velocidad son los niveles de emisión promedio de los vehículos individuales. Como resultado, la incertidumbre del factor de emisión depende de la variabilidad de las mediciones individuales del vehículo para la clase de velocidad particular (EMEP, EEA 2016).

Esta incertidumbre se ha caracterizado en el informe de Kouridis et al. (2009) para cada tipo de vehículo, contaminantes y clases de velocidad. En general, la variabilidad de los factores de emisión depende del contaminante, el tipo de vehículo y la clase de velocidad considerada.

Se considera que la distribución de valores individuales alrededor del factor de emisión promedio para una clase de velocidad particular sigue una distribución de tamaño log-normal. Esto se debe a que los valores de factor de emisión negativos no son posibles y la distribución log-normal solo puede llevar a valores positivos. Además, la distribución log-normal está muy sesgada, con una probabilidad mucho mayor asignada a valores más bajos que la media y una cola larga que alcanza valores de emisión altos. Esto muy bien representa el aporte de emisores altos y ultra. De ello se deduce que, debido a la gran variedad de datos utilizados y al procesamiento involucrado, diferentes limitaciones / restricciones están asociadas con los factores de emisión para diferentes clases de vehículos. Sin embargo, al aplicar la metodología se deben seguir varias reglas generales (EMEP, EEA 2016):

Los factores de emisión solo deben aplicarse dentro de los rangos de velocidad dados en las Tablas respectivas no mayores a 100 km/h. Estos rangos se han definido de acuerdo con la disponibilidad de los datos experimentales. Por lo tanto, no es aconsejable la extrapolación de las fórmulas propuestas a velocidades más altas.

- Las fórmulas propuestas solo deben usarse con la velocidad de desplazamiento promedio, y de ninguna manera pueden considerarse exactas cuando solo están disponibles los valores de velocidad constante o "puntual" del vehículo.
- Los factores de emisión pueden considerarse representativos del rendimiento de las emisiones con una velocidad constante solo a altas velocidades (> 100 km / h) cuando, en general, la variación de la velocidad es relativamente baja.

### 2.2.3 Combustión en los motores de las moto-taxis

Los vehículos propulsados por motores de combustión interna generan tres tipos de emisiones, emisiones del tubo de escape, emisiones por evaporación de combustible y emisiones de partículas por desgaste y flujo de desplazamiento.



Figura 2. Proceso de Emisión de Contaminantes en Vehículos motorizados convencionales (INE-SEMARNAT, 2005)

Las emisiones por el tubo de escape son producto de la quema del combustible en el interior del motor ya sea que este sea éste gasolina, gas licuado o natural, contienen a una serie de agentes contaminantes, como el azufre y el plomo se liberan al ambiente durante el proceso de combustión.

Las emisiones por el tubo de escape dependen de las características y condiciones operativas del vehículo, tecnología y su sistema de control de emisiones; los vehículos con más peso o más potentes generar mayores masas de emisiones por kilómetro recorrido y las normas que regulan la fabricación de vehículos determinan tanto su tecnología, así como la presencia o ausencia de equipos de control de emisiones, como los convertidores catalíticos (INE, SEMARNAT, 2005).

El estado de mantenimiento del vehículo, la velocidad de circulación, la frecuencia e intensidad de las aceleraciones y las características del combustible (como su concentración de azufre o plomo) establecen un papel determinante en las emisiones por del tubo de escape.

La realidad es que el proceso de combustión no es perfecto y como consecuencia, los motores emiten varios tipos de contaminantes, algunos de estos son Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos Totales (HCT), Óxidos de Nitrógeno (NOX), Óxidos de Azufre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido Nitroso(N<sub>2</sub>O), Amoniac (NH<sub>3</sub>), Material Particulado PM<sub>10</sub>, Material Particulado PM<sub>2.5</sub>, entre otros más peligrosos como metales pesados formando compuesto gaseosos liberados, estos últimos emitidos en mayor medida por las moto-taxis de dos tiempos ya que el combustible usado se mezcla con aceite lo que genera gases mucho más contaminantes a diferencia de las moto-taxis de cuatro tiempos.

### **2.2.3.1 Categoría vehicular moto-taxis**

La moto-taxi como vehículo, de acuerdo al diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, es una motocicleta de tres ruedas y con techo que se usa como medio de transporte popular.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) describe a las moto-taxis como una categoría, donde las unidades son adaptadas de motos lineales, utilizadas para el traslado de pasajeros, tienen una carrocería de lata sobre 03 ruedas, con una cabina para el conductor en la parte delantera y un asiento en la parte posterior (para 02 pasajeros) con una cubierta tipo toldo.

Las características de las moto-taxis según MTC del Perú afirma que las características físicas de las unidades son las siguientes: miden en promedio 2 metros de largo con 1.8 metros de ancho y 1.70 m de alto, común peso neto de 250 Kg. Y una capacidad de carga de 350 kg, la velocidad máxima que puede alcanzar es aproximadamente 50 km/h.



*Figura 3. Moto-taxi de Motor de 4 Tiempos (Bajaj Auto Ltd, 2016)*

Las moto-taxis, así como las motos lineales según indica el último Anuario Estadístico del MTC no son consideradas para el análisis del parque automotor, dejando fuera de los estudios realizados por la entidad ministerial a este vehículo, estudios como el número de licencias emitidas, condiciones del estado del vehículo, número de unidades registradas, unidades no registradas (piratas), viajes realizados, kilómetros recorridos, pasajeros transportados, calidad de servicio, entre otras evaluación que se presentan en el Anuario Estadístico del MTC. Quienes llevan el registro de estas unidades son las municipalidades según sea la ruta por el cual la moto-taxi circula, dichos registros escapan por grandes porcentajes al total de

unidades reales que existen en circulación en los distritos de Lima y otros departamentos del país.

El último registro en el año 2006 según el informe “Los Moto-taxis en el Área Metropolitana de Lima y Callao de la Secretaría Técnica del Consejo de Transporte de Lima y Callao ST-CTLC” la flota registrada y autorizada de vehículos entre todas las municipalidades distritales (exceptuando Villa María del Triunfo), ascendió a 22,348 moto-taxis, cantidad muy cercana a la cifra oficial de transporte público y la edad promedio de la flota es de 11 años de antigüedad (MTC, 2010).

Según la Municipalidad de Villa El Salvador existen en promedio 10,000 moto-taxis registradas y se estima que existen 4000 unidades informales.

En cuanto al combustible usado por estas unidades varían según el tipo de motor que presenta el vehículo, actualmente en el mercado se comercializan dos tipos de vehículos moto-taxis de 2 tiempos solo usan gasolina y las moto-taxis de 4 tiempos pueden usar gasolina como gas GLP o GNV, a lo que se denomina sistema dual.

Estos vehículos son ensamblados e importados al Perú desde la India actualmente, aunque los motores originales están diseñados para el correcto funcionamiento con gasolina se han adaptado de fábrica para funcionar con GLP o GNV.

En cuanto a demanda de combustible usado por las moto-taxis según testimonios y encuestas hacia los conductores de estas unidades prefieren el GLP ya que es más económico a diferencia de la gasolina y más potente a la hora del recorrido a diferencia del GNV que es más barato que el GLP.

El GLP usado como combustible en su gran mayoría para estas unidades es un combustible menos contaminante a diferencia de la gasolina emitiendo un 15% a 20% menos emisiones que la gasolina y no contiene azufre y plomo, así que no emite óxidos de azufre o plomo a la atmósfera (Repsol, 2014).

### 2.2.3.2 Especificaciones técnicas de la categoría vehicular moto-taxis

Tabla 1

*Especificaciones Técnicas del Motor de Moto-taxi de 4 Tiempos.*

Especificaciones Técnicas	Valores
Potencia máxima a Gasolina	10.86 Hp. a 5000 + 250 rpm.
Potencia máxima a GLP	10.19 Hp. a 5500 + 250 rpm.
Potencia máxima a GNV	9.72 Hp. a 5500 + 250 rpm.
Torque a Gasolina	18.00 Nm. a 3500 + 250 rpm.
Torque a GLP	16.00 Nm. a 3500 + 250 rpm.
Torque a GNV	14.90 Nm. a 3500 + 250 rpm.
Cilindrada a Gasolina, GLP, GNV	198.88cc
Embrague	Tipo multidisco húmedo

*Fuente:* Bajaj Auto Ltd (BAL)

Tabla 2

*Especificaciones Técnicas del Vehículo, Frenos y Neumáticos, de Moto-taxi de 4 Tiempos.*

Especificaciones Técnicas	Valores
Tipo marco	Acero de aleación reforzado
Largo x Ancho x Alto	2635 mm x 1300 mm x 1710 mm
Distancia entre ejes	2000 mm
Peso en vacío	337 Kg
Tanque de combustible (Reserva+ Utilizable)	Gasolina (8+1,5) litros
	GLP (16,5+3) litros
	GNV (4+3) litros
Tipo suspensión	Amortiguador hidráulico de doble actuación
Tipo de freno	Tipo Pedal de Fricción Expansor Hidráulico
Neumático delantero y trasero	4,00 -8,6 PR

*Fuente:* Bajaj Auto Ltd (BAL)

Tabla 3

*Especificaciones Técnicas del Motor de Moto-taxi de 2 Tiempos.*

Especificación Técnicas	Valores
Potencia máxima Gasolina	9.12 Hp. a 4500 ± 250 rpm.
Torque Gasolina	16.2 Nm a 3300 rpm.
Velocidad máxima	65 km/h
Cilindrada Gasolina	198.88cc
Embrague	Tipo multidisco húmedo

*Fuente:* Bajaj Auto Ltd (BAL)

Tabla 4

*Especificaciones técnicas del vehículo, frenos y neumáticos, de moto-taxi de 2 tiempos.*

Especificaciones Técnicas	Valores
Tipo marco	Acero de aleación reforzado
Largo x Ancho x Alto	2635 mm x 1300 mm x 1710 mm
Distancia entre ejes	2000 mm
Despeje del suelo	200 mm
Peso en vacío	337 Kg
Tanque de combustible (Reserva + Utilizable)	Gasolina (8+1,5) litros
Tipo suspensión	Amortiguador hidráulico de doble actuación
Tipo de freno	Tipo Pedal de Fricción Expansor Hidráulico
Neumático delantero y trasero	4,00 -8,6 PR

*Fuente:* Bajaj Auto Ltd (BAL)

### **2.2.3.3 Desagregación de emisiones para la categoría vehicular moto-taxi**

En la metodología que se desarrollará en el siguiente capítulo de este estudio se asume que las emisiones provenientes de los vehículos de la categoría moto taxis provienen de 3 fuentes (Samaras et al., 2007), que son las siguientes:

- a. Emisiones en caliente son aquellas que derivan del motor cuando este se encuentra en operaciones optimas y estables.
- b. Las emisiones por partidas en frio son las emisiones producidas en aquel tramo de viaje de un vehículo en el cual la conducción se realiza a una temperatura del motor menor a las normales para el que fue diseñado.

- c. Emisiones de hidrocarburos evaporados: Aquellas que derivan del vehículo provenientes de combustible evaporado externo al sistema de combustión. Las emisiones evaporativas a su vez tienen su origen a partir de tres escenarios de formación diferentes, cada uno con condiciones y características diferentes que se explicaran a detalle en el capítulo tres de este estudio:
- Emisiones durante el día (diurna)
  - Emisiones por detenciones en caliente (hot soak emissions)
  - Pérdidas durante el recorrido (running losses)
- d. El desgaste de frenos, neumáticos y superficie: Aunque no tienen origen en el sistema de combustión, estas fueron incorporadas en las emisiones de fuentes móviles.
- e. El Polvo suspendido o material particulado generado por el flujo de aire al desplazarse el vehículo también, aunque no tenga origen en el sistema de combustión es considerado parte de las emisiones vehiculares.

Las emisiones totales son la suma de estos cinco tipos de emisiones.

#### **2.2.3.4 Agentes contaminantes presentes en las emisiones considerados para este estudio**

A continuación, se explicará la formación, así como su importancia sobre impacto sobre la salud que puede generar cada uno de los contaminantes considerados para este estudio.

##### **2.2.3.4.1 Monóxido de carbono (CO)**

Debido a las diferentes etapas en la combustión, de ser completa se lleva a cabo la oxidación de CO a CO<sub>2</sub>, resultado de conjuntos de reacciones de mezcla entre CO y otros oxidantes. De ser combustión incompleta, queda sin terminar su

transformación, debido a bajas temperaturas, falta de oxidantes y retardo en la combustión.

La combustión, en los motores con mezclas ricas en combustibles, se obtiene altos niveles de emisiones de CO a diferencia de los motores diésel, resulta niveles bajos porque son ricas en aire.

Por lo tanto, el alto contenido de aire, altos grados de temperaturas y la adecuada mezcla son importantes para una transformación de CO a CO<sub>2</sub>. Esta formación se debe principalmente a la relación del combustible y aire (Carcelén, 2014).

Este compuesto es un gas inodoro, incoloro, explosivo y alto grado de toxicidad. Se encarga de bloquear el transporte de oxígeno a los glóbulos rojos, es letal, aún a baja concentración en el aire que respiramos. En concentraciones normales se encuentra en el aire oxidándose en menor tiempo, formando dióxido de carbono.

#### **2.2.3.4.2 Hidrocarburos totales (HCT)**

El diseño de los motores y las diferentes operaciones es de gran importancia para la formación de estos compuestos; y los parámetros del diseño como, la relación aire combustible, inyección secundaria, retardo en la inyección y el sistema de combustible son parte del diseño del motor importantes para establecer la cantidad de HCT que son formados como producto de combustión.

Los gases de hidrocarburos es resultado de la quema incompleta de combustible del motor. Se encuentra diversidad de hidrocarburos en la atmosfera siendo varios de ellos de gran interés, por sus impactos a la salud y en el entorno. Los compuestos volátiles (COV) son considerados antecesores del ozono y algunos de ellos, como formaldehído, acetaldehído y benceno, son calificados toxicas para el ser humano (INE, SEMARNAT, 2005).

A altas concentraciones en el ambiente, estos contaminantes pueden afectar al sistema nervioso, produciendo dolores de cabeza, mareo, adormecimiento de los pies y las piernas. Otros compuestos familiares de los HCT causan efectos al sistema

inmunitario, la piel, los ojos, pulmones y sangres. También pueden afectar a la reproducción y al feto de los animales (ATSDR, 1999).

#### **2.2.3.4.3 Óxidos de nitrógeno (NOX)**

Debido a las condiciones del motor como la alta temperatura y presión, reaccionan los átomos de nitrógeno y oxígeno del aire para formar el monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) entre otros compuestos menos comunes que se conocen de manera conjunta NOX. Estos, igual que los hidrocarburos, son precursores de ozono y con la presencia de humedad en la atmósfera se forman los ácidos nítricos, favoreciendo a las lluvias ácidas (Carcelén, 2014).

El NOX es empleado para referirse a los dos compuestos más importantes NO y NO<sub>2</sub> ya que son los más comunes, son subproductos en el proceso de combustión a altas temperatura; su impacto es más alto en lugares con climas cálidos o durante el verano.

Puede producir los siguientes efectos a la salud: irritación a la vista, dolor abdominal, dolor de cabeza, tracto respiratorio, ardor, somnolencia, náuseas, confusión, mareos, dificultad para respirar, piel o uñas azuladas, convulsiones y la muerte (Jiménez, 2015).

#### **2.2.3.4.4 Óxidos de azufre (SO<sub>2</sub>)**

El SO<sub>2</sub> se forma a partir de la oxidación del SO. Este contaminante impacta a la salud provocando enfermedades en las vías respiratorias, pero su emisión en los tubos de escape es reducida. Es un gas incoloro, de olor profundo, no combustible e hidrosoluble. Es posible disminuir los gases de dióxido de azufre si se disminuye el contenido de azufre en los combustibles de los motores a gasolinas.

#### **2.2.3.4.5 Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

En la atmosfera existe naturalmente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el producto frecuente de la combustión. Idealmente, durante el proceso de la combustión debe

producir solo dióxido de carbono y agua. El alcance de estos dos precisa de la relación de carbono - hidrógeno en el combustible. No obstante, las emisiones de CO<sub>2</sub> pueden disminuir por medio de la reducción del contenido de carbono por unidad de energía, o para mejorar la eficiencia del combustible en el interior del motor. Como un resultado inevitable de la combustión, el CO<sub>2</sub> no se logra disminuir mediante las medidas de post-tratamiento (como los transformadores catalíticos). Además, la oxidación catalítica de CO y HCT pueden aumentar las emisiones de CO<sub>2</sub> ligeramente (Carcelén, 2014).

El compuesto de CO<sub>2</sub> no atenta contra la salud, pero es importante para estudios del efecto invernadero el cual se suma a la degradación de la capa atmosférica participando seriamente en el calentamiento global (INE, SEMARNAT, 2005).

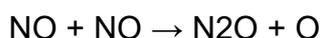
#### **2.2.3.4.6 Metano (CH<sub>4</sub>)**

El metano, aunque esta en menor medida a diferencia de los otros contaminantes, también es un gas del efecto de invernadero resultado del proceso de combustión en los motores. Es altamente potencial del calentamiento 21 veces mayor al CO<sub>2</sub>. (INE, SEMARNAT, 2005).

#### **2.2.3.4.7 Óxido nitroso(N<sub>2</sub>O)**

La emisión de este compuesto es inmediata. A bajas temperaturas la molécula de N<sub>2</sub>O es parcialmente estable y a altas temperaturas el N<sub>2</sub>O se reduce a N<sub>2</sub>. Es decir, el óxido nitroso es resultado de bajas temperaturas y condiciones de mezclas pobres (Girón,2016).

Su formación es la siguiente:



Al ser más estable que el NO y NO<sub>2</sub> estos pueden alcanzar hasta la estratosfera, la cual será transformada de nuevo a NO por la radiación solar y este a su vez reacciona con el ozono y forma el NO<sub>2</sub>. El óxido nitroso proviene de la familia óxidos de nitrógeno, también es un gas del efecto de invernadero y su alto potencial de calentamiento global por ser 296 veces más reactivo que el CO<sub>2</sub> y su fácil acceso al ozono estratosférico y participa en su degradación (Gallego, 2015).

#### **2.2.3.4.8 Amoniac (NH<sub>3</sub>)**

Este compuesto cobra importancia ambiental porque suelen reaccionar con SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> para formar partículas secundarias como el sulfato de amonio y el nitrato de amonio, la cual causan impactos en la reducción de la visibilidad. La exposición a altas concentraciones de este contaminante puede producir irritación dérmica, inflamación y edema pulmonar (INE, SEMARNAT, 2005).

#### **2.2.3.4.9 Material Particulado PM<sub>10</sub>**

Corresponde a aquellas partículas menores a 10  $\mu m$  y que por su muy bajo peso no se sedimentan o caen al suelo, lo cual genera que permanezcan suspendidas en el aire. Estas partículas no tienen un origen en el sistema de combustión, se denominan material particulado resuspendido ya que es el material fino que se encuentra en el ambiente y se suspende de manera continua por el flujo de aire que generan las moto-taxis.

Uno de los compuestos principales de PM<sub>10</sub> es sólido (Carcelén, 2014). Su efecto a corto plazo a la exposición del contaminante aumenta la morbimortalidad respiratoria, reduce en la función pulmonar, síndrome bronquial obstructivo, interferencia en mecanismos de defensa pulmonar: depuración mucociliar y fagocitosis. Logra a largo plazo menor desarrollo en la estructura y función del sistema respiratorio, así como también mayor riesgo que adquieran cáncer a la edad adulta (Oyarzún, 2010).

#### 2.2.3.4.10 Material Particulado PM2.5

Corresponde a aquellas partículas menores a  $2.5 \mu m$  y al igual que el PM10 por su muy bajo peso no se sedimentan o caen al suelo, lo cual genera que permanezcan suspendidas en el aire.

Las partículas de PM2,5 al igual que el PM10 no tienen un origen en el sistema de combustión, y también se denominan material particulado resuspendido ya que es el material fino que se encuentra en el ambiente y se suspende de manera continua por el flujo de aire que generan las moto-taxis, son partículas

Es uno de los principales en causar mayores impactos a la salud; a esto se le asocia enfermedades respiratorias, muertes prematuras, disminución de las funciones respiratorias, cáncer. (INE, SEMARNAT, 2005)

### 2.3 Definición de Términos Básicos y Acrónimos

**Agente contaminante:** Sustancias extrañas que provocan la contaminación atmosférica, pueden ser gaseosos, líquidos y sólidos que se concentran en la atmósfera; su origen puede ser natural o antrópico.

**AP-42:** Acrónimo inglés de Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Compilación de factores de emisiones contaminantes del aire.

**Calidad de aire:** Se basa en el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental de Aire (ECA Aire): que establecen niveles objetivo para la presencia de contaminantes en el aire, de modo que al mantenerse bajo estos niveles no representen riesgo a la salud de la población ni al ambiente.

**Categoría vehicular:** Clasificación de vehículos según sus características técnicas y mecánicas.

**CIU:** Acrónimo de Clasificación Industrial Internacional Uniforme, es un sistema de clasificación, mediante códigos, de las actividades económicas, según procesos

productivos. Permite la rápida identificación, en todo el mundo, de cualquier actividad productiva.

**COPERT:** Acrónimo de Metodología Europea desarrollada para ser utilizado por los Expertos Nacionales para estimar las emisiones del transporte por carretera que se incluirán en los inventarios nacionales anuales oficiales. La metodología COPERT también forma parte de la Guía de inventario de emisiones de EMEP / CORINAIR.

**Desagregación de emisiones:** Separación de las emisiones totales en emisiones menores, según su origen para un mejor cálculo de las cantidades liberadas de estas a la atmosfera.

**DIGESA:** Acrónimo de Dirección General de Salud Ambiental del Perú.

**EEA:** Acrónimo inglés de European Environment Agency, Agencia Europea de Medio Ambiente.

**EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook:** Guía de inventario de emisiones de contaminantes del aire proporciona una guía para estimar las emisiones de fuentes de emisiones naturales y antropogénicas.

**EMEP:** Acrónimo inglés de The European Monitoring and Evaluation Programme, Programa Europeo de Seguimiento y Evaluación es un programa con base científica y orientado a las políticas en virtud de la Convención sobre Contaminación del Aire Transfronteriza a Largo Plazo (CLRTAP) para la cooperación internacional para resolver los problemas de contaminación del aire transfronterizo.

**Emisión en caliente:** Emisiones que derivan del motor cuando este se encuentra en operaciones optimas y estables.

**Emisión en frio:** Emisiones producidas en aquel tramo de viaje de un vehículo en el cual la conducción se realiza a una temperatura del motor menor a las normales para el que fue diseñado.

**Emisión evaporativa:** Emisiones que derivan del vehículo provenientes de combustible evaporado externo al sistema de combustión.

**Emisión por desgaste:** Emisiones producidas por desgaste de frenos, neumáticos y superficie: Aunque no tienen origen en el sistema de combustión, estas fueron incorporadas en las emisiones de fuentes móviles.

**Emisión por polvo:** Emisiones que se generan por polvo resuspendido o material particulado generado por el flujo de aire al desplazarse el vehículo también, aunque no tenga origen en el sistema de combustión es considerado parte de las emisiones vehiculares.

**Emisión:** Liberación de un compuesto o agente contaminante a la atmosfera.

**EPA:** Acrónimo inglés de U.S. Environmental Protection Agency, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

**Estimación de emisión:** Proceso de calcular en base a los niveles de actividad y factores de emisión la cantidad de masa de un compuesto contaminante liberado a la atmosfera.

**Factor de actividad (FA):** Valor matemático el cual relaciona el compuesto o contaminante de interés con algún tipo de actividad realizada en un tiempo determinado.

**Factor de emisión (FE):** Valor matemático que relaciona la cantidad o masa de un contaminante liberado a la atmosfera, de acuerdo a una magnitud de actividad realizada por ejemplo km recorridos, combustible consumido, etc.

**Flujo vehicular:** Numero de vehículos contabilizados que se desplazan en una vía en un tiempo determinado.

**GEI:** Acrónimo de Gases de Efecto Invernadero.

**GLP:** Acrónimo de Gas Licuado de Petróleo.

**GVN:** Acrónimo de Gas Natural Vehicular.

**INE-SEMARNAT:** Acrónimo de Instituto Nacional de Ecología - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México.

**INGEI:** Acrónimo de Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.

**Inmisión:** Medida de la calidad del aire ambiente se expresarse como concentración de contaminante en microgramos por metro cúbico de aire en condiciones normales de presión y temperatura.

**Inventario de emisiones:** Instrumento de gestión que contiene un conjunto de datos que se caracterizan y consolidan, mediante sumatorias, las emisiones de contaminantes atmosféricos, de acuerdo con el tipo de fuente y el tipo y cantidad de contaminantes emitidos, en un área geográfica y en un intervalo de tiempo de evaluación determinados.

**IPCC:** Acrónimo inglés de Intergovernmental Panel on Climate Change, grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

**KVP:** Kilómetros totales del vehículo.

**Material particulado (MP):** Mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias inorgánicas u orgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire, forma parte de la contaminación del aire.

**MECA:** Acrónimo inglés de Manufactures of Emission Controls Association, Asociación de fabricantes de controles de emisiones

**MIDEPLAN:** Acrónimo de Ministerio de Planificación de Chile.

**MINAM:** Acrónimo de Ministerio del Ambiente del Perú.

**MODEM y MODEC:** Acrónimo de Modelos especializado que permite calcular a través de un software las emisiones de contaminantes atmosféricos, así como su transformación química generados por actividad vehicular en zonas urbanas.

**Moto-taxi:** Unidades vehiculares que son adaptadas de motos lineales, utilizadas para el traslado de pasajeros, tienen una carrocería de lata sobre 03 ruedas, con una cabina para el conductor en la parte delantera y un asiento en la parte posterior (para 02 pasajeros) con una cubierta tipo toldo.

**MTC:** Acrónimo de Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

**NFR:** Acrónimo inglés de Nomenclature for Reporting, Nomenclatura que hace referencia al formato para el reporte de datos nacionales de acuerdo con el Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza de Larga Distancia (CLRTAP) también remitidos a la Agencia Europea del medio Ambiente (EEA).

**Nivel de incertidumbre:** Margen de error en el cálculo de estimación de emisiones atmosféricas.

**OEFA:** Acrónimo de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental del Perú.

**PTS:** Acrónimo de Partículas Sólidas Totales presentes en la atmosfera.

**RPM:** Acrónimo de Revoluciones por minuto.

**RVP:** Acrónimo de Presión de vapor Reid es un ensayo empírico que mide la presión en libras/pulgadas<sup>2</sup> (psi) ejercida por los vapores o componentes livianos del crudo o de un producto del petróleo, en un recipiente cerrado a una temperatura de 100 °F (38 °C).

**SAEMC:** Acrónimo de Emisiones Sudamericanas, Mega ciudades y Clima.

**SECTRA:** Acrónimo de Programa de Vialidad y Transporte Urbano de Chile.

**SENAMHI:** Acrónimo de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

**ST-CTLC:** Acrónimo de Secretaría Técnica del Consejo de Transporte de Lima y Callao.

**USCUSS:** Acrónimo de Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura.

## **CAPITULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO**

### **3.1 Modelo de Solución Propuesto**

#### **3.1.1 Metodología para la estimación de emisiones para la categoría moto-taxis.**

Las metodologías, factores de emisión y niveles de actividad que se presentan a continuación fueron extraídas de la última versión de la Guía de inventario de emisiones del 2016 (anteriormente denominada Guía de inventario de emisiones de EMEP CORINAIR) de la EMEP, EEA y se le denomina metodología COPERT, se estableció el nivel 3 de estimación, esta metodología está presente en la guía de la siguiente forma:

- Capítulo Parte B que corresponde a la orientación sectorial;
- Sección 1 de Energía;
- Subsecciones 1.A que corresponde a Combustión;
- 1.A.3.b.i-iv Transporte por carretera 2018;
- 1.A.3.b.i-iv Transporte por carretera, FEs, anexo 2018;
- 1.A.3.b.v Evaporación de gasolina 2018;

- 1.A.3.b.vi-vii Neumáticos y frenos de carretera 2016;

subsecciones que permiten estimar las emisiones totales de las moto-taxis en base a la desagregación de estas, en emisiones en caliente, por partidas en frío, evaporativas, polvo y desgaste, cabe señalar que la Guía de la EMEP de la EEA, también utiliza metodologías que son obtenidas a partir del AP-42 de la EPA para obtener las emisiones por polvo y desgaste.

El nivel de incertidumbre considerado tanto para factores de emisión y niveles de actividad es de +/- 5%.

### **3.1.2 Metodología para la obtención de datos del flujo vehicular para la categoría moto-taxis**

La metodología usada para la obtención de datos del flujo vehicular de la categoría moto-taxis fueron extraídas de la última versión de la Guía de inventario de emisiones del 2016 de la EMEP de la EEA metodología presente en:

- Capítulo Parte A que corresponde capítulos de orientación general;
- Sección 3 Recopilación de datos 2016

Se elaboró perfiles diarios de flujo vehicular para cada uno de los siguientes tipos de días (SECTRA, 2010):

- Día laboral (de lunes a jueves);
- Viernes,
- Sábado, y
- Domingo.

Para obtención de datos del flujo vehicular se realizó un conteo manual de los flujos vehiculares de 12 horas diurnas que corresponden de 6:00 am a 6:00pm estableciéndose el punto de medición de flujo vehicular en el cruce de las Avenidas Central y Simón Bolívar de Villa El Salvado, realizándose un conteo manual durante los primeros 15 minutos de cada hora diurna, durante una semana para cada uno de los tipos de días.

Para la obtención de los demás datos que se requirieron para cada uno de los cálculos de estimación de emisiones según sea su tipo, se realizó encuestas a los conductores de los vehículos, así como a usuarios de estos (EMEP, EEA, 2016).

### 3.1.3 Desagregación de las emisiones de las moto-taxis

Las emisiones de las moto-taxis como se mencionó en el capítulo anterior se pueden expresar en la siguiente ecuación y se desagregan en:

$$E_{total} = E_{caliente} + E_{partidas\ en\ frio} + E_{evaporativas} + E_{desgaste} + E_{polvo}$$

Donde:

- $E_{total}$  : Emisiones totales del contaminante considerado (Kg).
- $E_{caliente}$  : Emisiones en caliente, fase estabilizada del motor (Kg).
- $E_{partidas\ en\ frio}$  : Emisiones por partidas en frio (Kg).
- $E_{evaporativas}$  : Emisiones por evaporación\*(Kg).
- $E_{polvo}$  : Emisiones provenientes del polvo resuspendido en el aire por la circulación del vehículo sobre el pavimento(Kg).
- $E_{desgaste}$  : Emisiones provenientes del desgaste de frenos, neumáticos y superficie (Kg).

Las emisiones totales se generan al sumar los cinco tipos de emisiones vehiculares.

#### 3.1.3.1 Metodología para la estimación de emisiones en caliente

Las Emisiones en caliente son aquellas que derivan del motor cuando este se encuentra en operaciones optimas y estables, cabe resaltar cuando la velocidad del vehículo es menor las emisiones son mayores, ya que las condiciones de funcionamiento optimas de los motores van a depender de los criterios de diseño lo cual no con contemplan velocidades menores ni máximas.

Las Emisiones en caliente se determinan con la siguiente ecuación (Samaras et al., 2007):

$$E_{hora\ ijk} = F_{jk} \times L_j \times FE_{(v)ik}$$

Donde:

- $E_{hora\ ijk}$  : Emisiones (g/km) del contaminante tipo "i" en una distancia de vía "j" para la categoría vehicular moto-taxi "k" en una hora determinada.
- $F_{jk}$  : Flujo vehicular de moto-taxis (veh/h) total en una distancia de vía "j" establecida para la estimación de emisiones.
- $L_j$  : Largo o distancia de la sección de vía evaluada (km).
- $FE_{(v)ik}$  : Factor de emisión en función de la velocidad (g/km) del contaminante tipo "i" para la categoría "k" de vehículo evaluado. La metodología no permite velocidades menores a 5 km/h y mayor a 100 km/hr en el caso de secciones de vía de la red urbana, y mayor a 120 km/h en el caso de arcos de la red interurbana.

### 3.1.3.1.1 Metodología para la estimación de emisiones de CO2

Para la estimación de las emisiones de CO2 se utilizará la metodología presente en COPERT III, la cual indica que el carbono total en el combustible es oxidado a CO2, considerando que el carbono también es emitido, pero en menor concentración como CO, COV y material particulado. La siguiente ecuación indica la forma de estimación (Samaras et al., 2007).

$$E_{CO_2k} = 44,011 \times \frac{CC_{kn}}{12,011 + 1,008 \times r_{H:C_m}} - \frac{E_{kn}^{CO}}{28,011} - \frac{E_{kn}^{HCT}}{13,85} - \frac{E_{kn}^{MP}}{12,011}$$

Donde:

- $E_{CO_2k}$  : Emisiones de CO2 emitidas por la categoría vehicular moto-taxi "k" (kg/día).
- $CC_{kn}$  : Consumo de Combustible del vehículo categoría moto-taxi "k" que utiliza combustible "n" (kg/día).
- $E_{kn}^{CO}$  : Emisiones de CO emitidas por el vehículo categoría "k" que utiliza combustible "n" (kg/día).

- $E_{kn}^{HCT}$  : Emisiones de HCT emitidas por el vehículo categoría moto-taxi “k” que utiliza combustible “n” (kg/día).
- $E_{kn}^{MP}$  : Emisiones de MP emitidas por el vehículo categoría moto-taxi “k” utiliza combustible “n” (kg/día).
- $r_{H:C_n}$  : Relación entre el hidrogeno y carbono existente en el combustible.

### 3.1.3.1.2 Metodología para la estimación de emisiones de SO2

En las emisiones de SO2 se asume que el contenido total de azufre (S) presente en el combustible se transforma por completo en SO2. Se considera el peso atómico del azufre es 32 y el del oxígeno es 16, el peso final es el doble que el del azufre, siendo la ecuación de cálculo la siguiente (Samaras et al., 2007).

$$E_{SO_2j} = 2 \times CC_{kn} \times S_{comb_n}$$

Donde:

- $E_{SO_2k}$  : Emisiones de SO2 emitidas por el vehículo categoría moto-taxi “k” (kg/día).
- $CC_{kn}$  : Consumo de combustible del vehículo categoría moto-taxi “k” que utiliza combustible “n” (kg/día).
- $S_{comb_n}$  : Contenido de azufre del combustible tipo “n” (en peso m/m).

### 3.1.3.1.3 Factores de emisión para las emisiones en caliente

Los siguientes factores de emisión fueron extraídos de la metodología COPERT metodologías presente en la elaboración de un inventario de emisiones vehiculares de nivel 3, en la última versión de la Guía de inventario de emisiones (EMEP, EEA, 2016).

Tabla 5

*Factores de Emisión para Motocicletas de Motor de 4 Tiempos, en Base a la Capacidad del Motor para Velocidades Menores a 60km/h.*

Categoría Vehicular	Contaminante	Factor de emisión (g/km)
Motocicletas 4 tiempos convencional	CO	$0.0139 \times V^2 - 1.42 \times V + 55.0$
	HCT	$0.0015 \times V^2 - 0.164 + V + 5.51$
	NOX	$0.00005 \times V^2 - 0.0009 \times V + 0.092$
	CO2	(1)
	SO2	(2)
	CH4	0.2
	N2O	0.002
	NH3	0.002

*Nota:* (1) y (2): Los procedimientos de cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> se explican de forma detallada en las dos secciones anteriores a esta.

Tabla 6

*Factores de emisión para Motocicletas de Motor de 2 Tiempos, en Base a la Capacidad del Motor para Velocidades Menores a 60km/h.*

Categoría Vehicular	Contaminante	Factor de emisión (g/km)
Motocicletas 2 tiempos convencional	CO	$- 0.001 \times V^2 + 0.172 \times V + 18.1$
	HCT	$0.00035 \times V^2 - 0.409 \times V + 20.1$
	NOX	$0.00003 \times V^2 - 0.002 \times V + 0.064$
	CO2	(1)
	SO2	(2)
	CH4	0.15
	N2O	0.002
	NH3	0.002

*Nota:* (1) y (2): Los procedimientos de cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> se explican de forma detallada en las dos secciones anteriores a esta.

### 3.1.3.2 Metodología para la estimación de emisiones por partidas en frío

Las emisiones por partidas en frío se dan en aquella porción del viaje de un vehículo en la cual las condiciones de conducción se realizan en condiciones de temperatura menor a las normas de diseño del motor. Estas emisiones resaltan cuando se estiman en ciudades donde el tiempo promedio de los viajes son cortos y las temperaturas ambientales son bajas (Samaras et al., 2007).

La metodología de cálculos para este tipo de emisiones se basa en la siguiente ecuación:

$$E_{jikm} = F_{km} \times E_{cal\ ikm} \times \left[ \left( \frac{e_{frío}}{e_{cal}} \right)_{ik} - 1 \right]$$

Donde:

- $E_{jikm}$  : Emisiones en frio en el tramo “j”, para el contaminante “i”, para la categoría del vehículo moto-taxi “k”, para el mes “m”, en (ton/mes).
- $F_{km}$  : Fracción del viaje realizado con el motor en frio por el vehículo categoría moto-taxi “k”, dependiente de la temperatura promedio ( $T_m$ ) del mes “m”.
- $E_{cal\ ikm}$  : Emisiones en caliente calculadas con la metodología tipo arco para el contaminante “i”, vehículo categoría moto-taxi “k”, en el mes “m”, en (ton/mes).
- $\left(\frac{e_{frio}}{e_{cal}}\right)_{ik}$  : Razón de emisiones entre el motor frio y caliente para el contaminante “i”, vehículo categoría moto-taxi “k” (adimensional).

La siguiente ecuación calcula las emisiones en frio generadas en el tramo recorrido del vehículo que se consideran con el motor en frio, dentro de esta expresión se restan las emisiones en caliente que habían sido calculadas para el tramo en frio (Samaras et al., 2007).

Se identifican dos parámetros importantes, uno de ellos es la relación “efrio/ecal”, que corresponde a la razón de emisiones en frio sobre las emisiones en caliente. Este factor se aplica a la fracción del viaje en frio y depende de la temperatura ambiental, rangos de velocidad y del contaminante considerado. Las expresiones utilizadas para cálculo de esta razón se presentan en la Tabla 7.

El otro parámetro importante corresponde a “Fkm” o fracción del viaje que se realiza en frio, este parámetro depende de la temperatura y del modo de conducción, y también del largo del viaje promedio realizado, para calcularlo está dado por la siguiente ecuación (Samaras et al., 2007).

$$F_{km} = 0.6474 - 0.02545 \times LV_k - (0.00974 - 0.000385 \times LV_k) \times T_m$$

Donde:

- $F_{km}$  : Fracción de un viaje efectuado por una moto-taxi con el motor en frío dependiente de  $T_m$  y  $LV_k$ .
- $LV_k$  : Largo de un viaje promedio para un vehículo categoría moto-taxi “k”.
- $T_m$  : Temperatura ambiental promedio del mes “m”.

La temperatura ambiental promedio del mes se calcula a partir de las temperaturas máximas y mínimas medias mensuales. El largo de un viaje promedio se obtiene a partir de la información generada por las encuestas origen destino.

Tabla 7

Razón de Emisión  $e_{frio}/e_{cal}$

Vehículos livianos	Temperatura (°C)	$e_{frio}/e_{cal}$
CO	-10 : 30	3,7 – 0.09×Tm
HCT	-10 : 30	2,8 – 0.06×Tm

Fuente: COPERT III, 2001

Nota: T<sub>m</sub> = Temperatura ambiental promedio del mes “m”.

### 3.1.3.3 Metodología para la estimación de emisiones evaporativas

El cálculo de las emisiones evaporativas se basan en la metodología COPERT III las cuales son el resultado de sumar 3 tipos de emisiones evaporativas como se ve en la siguiente ecuación (Samaras et al., 2007).

$$E_{evap} = E_{evap}RL_{kj} + E_{evap}D_k + E_{evap}HS_k$$

Donde:

$E_{evap}$  : Emisiones evaporativas totales (g/día).

$E_{evap}RL_{kj}$  : Emisiones evaporativas totales generadas por pérdidas durante el recorrido.

$E_{evap}D_k$  : Emisiones evaporativas totales generadas durante el día.

$E_{evap}HS_k$  : Emisiones evaporativas totales generadas por detenciones en caliente.

Para efectos de este trabajo y debido a que el vehículo de mayor demanda y número de uso por los usuarios para rutas cortas y continuas en el distrito de Villa El Salvador son las moto-taxis, las emisiones que se calcularán serán en condiciones de motor caliente, es decir en las condiciones ideales de diseño de motor.

Las moto-taxis siempre están continuamente circulando por las vías principales y auxiliares, de forma cíclica, es por eso que el motor de cualquiera de estas unidades siempre estará a su temperatura óptima de trabajo.

### 3.1.2.3.1 Cálculo de emisiones evaporativas por pérdidas durante el recorrido

En el caso de las pérdidas evaporativas por recorrido, es decir sobre el trayecto recorrido en la longitud de la vía, se considera una diferencia según sea el grado de temperatura del motor, es decir, se denomina “hot running losses” cuando la temperatura del agua del refrigerante del motor se encuentra por encima de los 70°C y “warm running losses” cuando se encuentra por debajo de los 70°C. Para calcular esta emisión se hace uso de la siguiente ecuación (Samaras et al., 2007).

$$E_{evap}RL_{kj} = (FE_{evap}RL_k \times F_{kj} \times L_j)$$

Donde:

$E_{evap}RL_{kj}$  : Emisiones evaporativas totales provenientes del recorrido diario (running losses) de la categoría vehicular moto-taxi “k” para el tramo vial “j” (g/km).

$FE_{evap}RL_k$  : Factor de emisión para emisiones evaporativas debidas al recorrido diario (hot running losses o warm running losses según corresponda) de la categoría vehicular moto-taxi “k” en estudio (g/km).

$F_{kj}$  : Flujo de vehículos de la categoría moto-taxi “k” en la longitud de la vía “j”.

$L_j$  : Largo o distancia de vía “j” (Km).

La siguiente tabla 8 presenta los factores de emisión para emisiones evaporativas por pérdidas durante el recorrido diario.

Tabla 8

*Factores de Emisión Evaporativas Durante el Recorrido*

Factor de emisión	Unidades	Vehículos no controlados (sin dispositivos canister)
Emisiones por pérdidas durante el recorrido con T° motor <70°C. (Warm Running losses)	g/km	$0.1 \times \exp(-5.967 + 0.04259 \times RVP + 0.1773 \times T_m)$
Emisiones por pérdidas durante el recorrido con T° motor ≥70°C. (Hot Running losses)	g/km	$0.1 \times \exp(-5.967 + 0.04259 \times RVP + 0.1773 \times T_m)$

*Fuente:* COPERT III, 2001

*Nota:* RVP = Presión de Vapor Reíd del combustible, T<sub>m</sub> =Temperatura ambiental promedio del mes "m".

### 3.1.2.3.2 Cálculo de emisiones evaporativas durante el día

Las emisiones evaporativas durante el día(diurna) se asocian a los cambios de temperatura que se presentan durante el día. Para calcular estas emisiones totales diarias se hace uso de la siguiente ecuación (Samaras et al., 2007).

$$E_{evap}D_k = Nv_k \times FE_{evap}D_k$$

Donde:

$E_{evap}D_k$  : Emisiones evaporativas totales generadas por las variaciones de temperatura(diurna) de la categoría moto-taxi "k", en el área de estudio (g/día).

$Nv_k$  : Numero de vehículos de la categoría moto-taxi "k" en el área de estudio.

$FE_{evap}D_k$  : Factor de emisión para emisiones durante el día generados por los cambios de temperatura ambiental (diurna) para la categoría moto-taxi “k” (g/día).

El número de vehículos  $Nv_k$  se refiere al parque de vehículos que se encuentran durante el día en cada una de las zonas bajo estudio, se considera no solo los vehículos que se encuentran en la zona sino que también los viajes de vehículos que ingresan o salen de ella.

La siguiente tabla 9 presenta los factores de emisión para emisiones evaporativas por pérdidas durante el día.

Tabla 9

*Factores de Emisión Evaporativas Durante el Día*

Factor de emisión	Unidades	Vehículos no controlados (sin dispositivos canister)
Emisiones durante el día (diurna)	g/día	$9.1 \times \exp[0.0158 \times (RVP - 61.2) + 0.0574 \times (T_{min} - 22.5) + 0.0614 \times (T_{inc} - 11.7)]$

*Fuente:* COPERT III, 2001

*Nota:* RVP = Presión de Vapor Reíd del combustible,  $T_{inc} = (T_{max} - T_{min})$ , T= Temperatura del ambiente en °C.

### 3.1.2.3.3 Cálculo de emisiones evaporativas por detenciones en caliente

Las emisiones por detenciones en caliente (hot soak) tiene un origen cuando el motor del vehículo es apagado luego de haber realizado un recorrido, en donde el calor residual del motor caliente las líneas de combustible que ya no está fluyendo generando emisiones evaporativas. Estas emisiones se dividen en “Hot soak”, cuando la temperatura del agua de refrigeración del motor al ser apagado es mayor a 70°C y “Warm soak”, cuando la temperatura del agua de refrigeración del motor al ser apagado es menor a 70°C (Samaras et al., 2007).

Al igual que para las emisiones durante el día también se considera el número de vehículos en la zona y el número de viajes promedio realizado por el vehículo. Para

calcular estas emisiones totales diarias se hace uso de la siguiente ecuación (Samaras et al., 2007).

$$E_{evap}HS_k = Nv_k \times Nvd_k \times FE_{evap}HS_k$$

Donde:

$E_{evap}HS_k$  : Emisiones evaporativas totales generadas por las detenciones en caliente (hot o warm soak según corresponda) de la categoría moto-taxi “k”, en el área de estudio (g/día).

$Nv_k$  : Numero de vehículos de la categoría moto-taxi “k” en el área de estudio.

$Nvd_k$  : Numero de viajes diarios promedio realizado por la categoría moto-taxi “k”.

$FE_{evap}HS_k$  : Factor de emisión para emisiones generadas de las detenciones en caliente para la categoría moto-taxi “k” (g/detención).

La siguiente tabla 10 presenta los factores de emisión para emisiones evaporativas por detenciones en caliente.

Tabla 10

*Factores de Emisión Evaporativas por Detenciones en Caliente*

Factor de emisión	Unidades	Vehículos no controlados (sin dispositivos canister)
Emisiones por detenciones en caliente, con T <sup>0</sup> motor <70°C (Warm soak).	g/detención	$\exp(-1.644 + 0.01993 \times RVP + 0.07521)$
Emisiones por detenciones en caliente, con T <sup>0</sup> motor $\geq 70^\circ\text{C}$ (Hot soak).	g/detención	$3.0042 \times \exp(0.02 \times RVP)$

*Fuente:* COPERT III, 2001

*Nota:* RVP = Presión de Vapor Reíd del combustible

### 3.1.3.4 Metodología para la estimación de emisiones por desgaste

El cálculo de emisiones de material particulado generado por el desgaste de frenos, neumáticos y superficie proviene de la metodología utilizada en CORINAIR COPERT IV-Simplificada. Para calcular estas emisiones se hace uso de la siguiente ecuación (Samaras et al., 2007).

$$E_d = \sum_d (NA_k \times FE_{dk})$$

Donde:

- $E_d$  : Emisiones (g) de material particulado proveniente de la descarga “d”.
- $NA_k$  : Nivel de actividad de la categoría vehicular moto-taxi “k” (Km).
- $FE_{dk}$  : Factor de emisión de material particulado para la categoría vehicular moto-taxi “k” y tipo de descarga “d” (g/Km).
- k : Categoría vehicular corresponde a moto taxis.
- d : Tipo de descarga (desgaste de frenos, desgaste de neumáticos y de superficie).

La siguiente tabla 11 presenta los factores de emisiones provenientes del desgaste de frenos, neumáticos y de superficie.

Tabla 11

*Factores de Emisión de Material Particulado de Descargas Provenientes de Desgaste de Frenos, Neumáticos y de Superficie.*

Factor de emisión	Desgaste de neumáticos (g/Km)	Desgaste de frenos (g/Km)	Desgaste de superficie (g/Km)
Motocicletas	0.0028	0.0037	0.0030

*Fuente:* COPERT IV, 2009

### 3.1.3.5 Metodología para la estimación de emisiones por polvo

El cálculo de emisiones de polvo resuspendido sobre calles pavimentadas proviene de la última actualización del AP-42 de la EPA del año 2006. Para calcular estas emisiones se hace uso de las siguientes ecuaciones:

$$E_{pa} = Ed \left( 1 - \frac{P}{4N} \right)$$

Donde:

$E_{pa}$  : Tasa de emisión anual (o del periodo bajo estudio) de partículas para el tramo de la calle pavimentada (g/año).

$Ed$  : Tasa de emisión diaria de partículas para el tramo de calle pavimentada (g/día).

$P$  : Días con precipitaciones mayores a 0.254 mm. Durante el periodo considerado.

$N$  : Número de días promedio de estudio (365 en caso anual).

$$Ed = e \times F \times L$$

Donde:

$Ed$  : Tasa de emisión diaria de partículas para el tramo de calle pavimentada (g/día).

$e$  : Factor de emisión de partículas por calles (g/veh.km).

$F$  : Flujo vehicular diario de moto-taxis (vehículos/día).

$L$  : Longitud de tramo (Km).

Los factores de emisión de polvo de calles pavimentadas, provienen de la última versión del 2006 del AP-42 de la EPA relativo a diversas fuentes de emisiones de polvo fugitivo de calles pavimentadas. El factor de emisión se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$e = k \left( \frac{Sp}{2} \right)^{0.65} \left( \frac{W}{3} \right)^{1.5}$$

Donde:

$Sp$  : Contenido de material fino, fracción de polvo de diámetro  $\leq 75$  micrones (g/m<sup>2</sup>).

$k$  : Constante, depende del tamaño de partícula a considerar (g/VKT).

$W$  : Peso promedio de la categoría moto-taxi en movimiento (ton).

El valor de la constante  $k$  varía según el tamaño de partícula como se indica en la siguiente tabla 12:

Tabla 12

*Valores de "K" Según Tamaño de Partícula*

Tamaño de partículas	Valores de K en (g/VKT)
MP 2.5	1.1
MP 10	4.6
MP 15	5.5
MP 30*	24

*Fuente:* AP-42

*Nota:* \*Se asocia a Partículas Totales Suspensas (PTS)  
VKT= Kilómetros totales del vehículo

Respecto a la carga de material fino que debe ser utilizada se muestra en la siguiente tabla 13.

Tabla 13

*Carga de Finos "Sp"*

Flujo vehicular	≤500	>500 ; ≤ 10000	> 10000
Carga de finos (g/m <sup>2</sup> )	0.6	0.11	0.03
Carga de finos en calles pavimentadas (g/m <sup>2</sup> )	4.2	0.96	0.18

*Fuente: AP-42.*

El valor de W será obtenido de valores promedio utilizados para vehículos en movimiento. La siguiente tabla 14 presenta estos valores.

Tabla 14

*Peso de Vehículos "W"*

Tipo de vehículo	Peso (ton)
Moto-taxis	0.336

*Fuente: Elaboración propia*

## 3.2 Resultados

### 3.2.1 Análisis del comportamiento del flujo vehicular

A continuación, se presenta el conteo mecánico del flujo vehicular para la zona de estudio realizado durante el periodo de verano del 11 al 17 de marzo del 2019, durante las 6:00 am a 6:00pm horas:

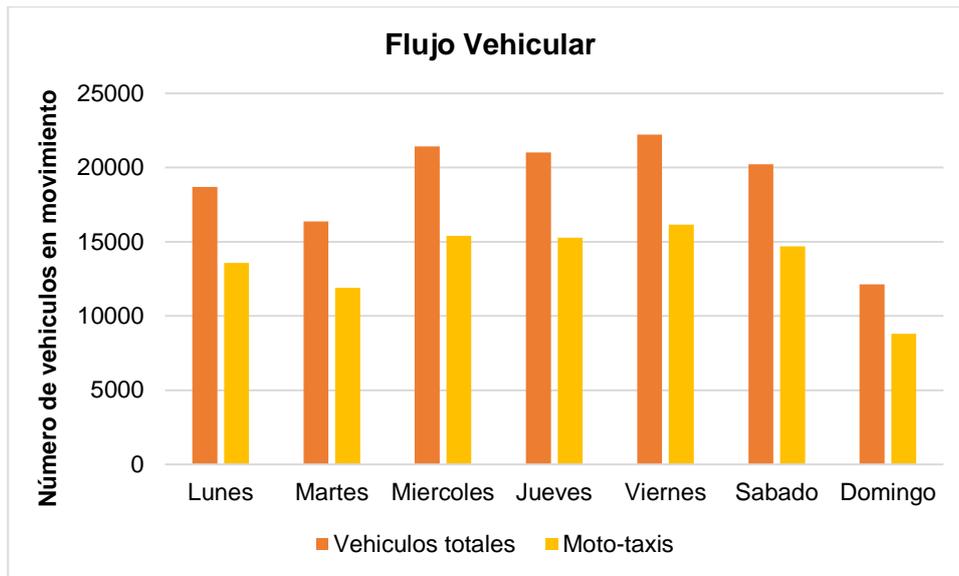


Figura 4. Gráfico de Barras del Flujo Vehicular

Como resultado del conteo se observa un comportamiento diferenciado en cuanto al flujo vehicular según sea el día, siendo el día viernes el día del periodo de análisis con mayor flujo vehicular registrándose 22233 vehículos contabilizados, seguido del miércoles con 21438 vehículos contabilizados y jueves con 21031 vehículos contabilizados. Los días con menor flujo vehicular son lunes 18707 vehículos contabilizados, seguido de los martes con 16377 y por último el día con el mínimo de flujo vehicular es el domingo con 12124 vehículos contabilizados.

Del total de vehículos registrados para el periodo de análisis un poco más del 70% del flujo vehicular total corresponde a los moto-taxis, haciéndolos los vehículos con mayor demanda por los usuarios en el área de estudio, el porcentaje restante corresponde a vehículos de otras categorías como buses, autos, combis, camiones de carga como se muestra en la siguiente figura:

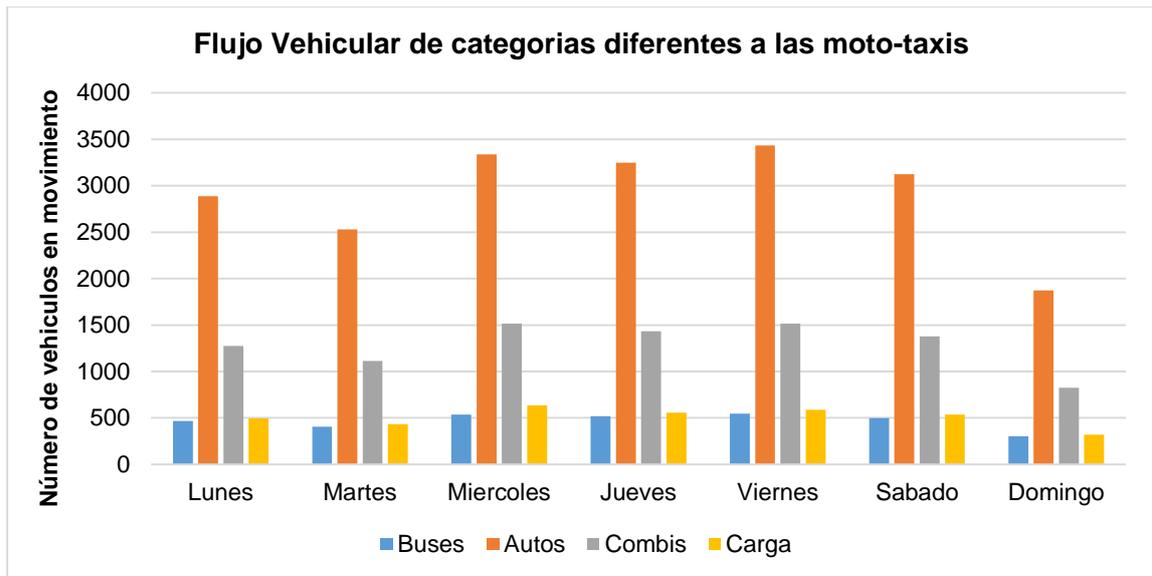


Figura 5. Gráfico de Barras del Flujo Vehicular de las Categorías Diferentes a las Moto-taxis

Entre estas otras categorías podemos ver que los autos (categoría que incluyen tanto taxis como vehículos privados o características similares), forman el mayor porcentaje en la composición restante del flujo vehicular muy por detrás de las moto-taxis.

En cuanto al flujo vehicular total en la sección de estudio de la Avenida Central, el comportamiento del flujo total de vehículos según la dirección de desplazamiento es el siguiente:

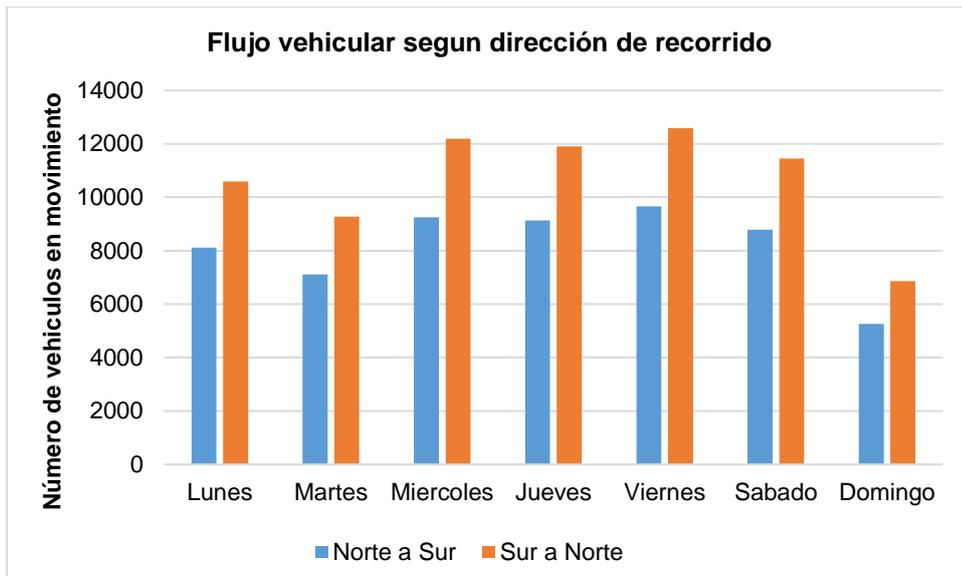


Figura 6. Gráfico de Barras del Flujo Vehicular Según Dirección de Recorrido

Se puede verificar que la dirección de recorrido con sentido Sur a Norte, sobre la sección de estudio de la avenida central, es la que contiene un mayor flujo vehicular durante las horas de estudio, esto se debe a que la vía con sentido sur a norte a pesar de ser la vía con menor flujo de vehículos grandes, es la dirección de la vía con mayor número de flujo de moto-taxis en comparación con la vía sentido norte a sur.

El cuanto al comportamiento del flujo vehicular total según la hora de evaluación se presenta la siguiente figura:

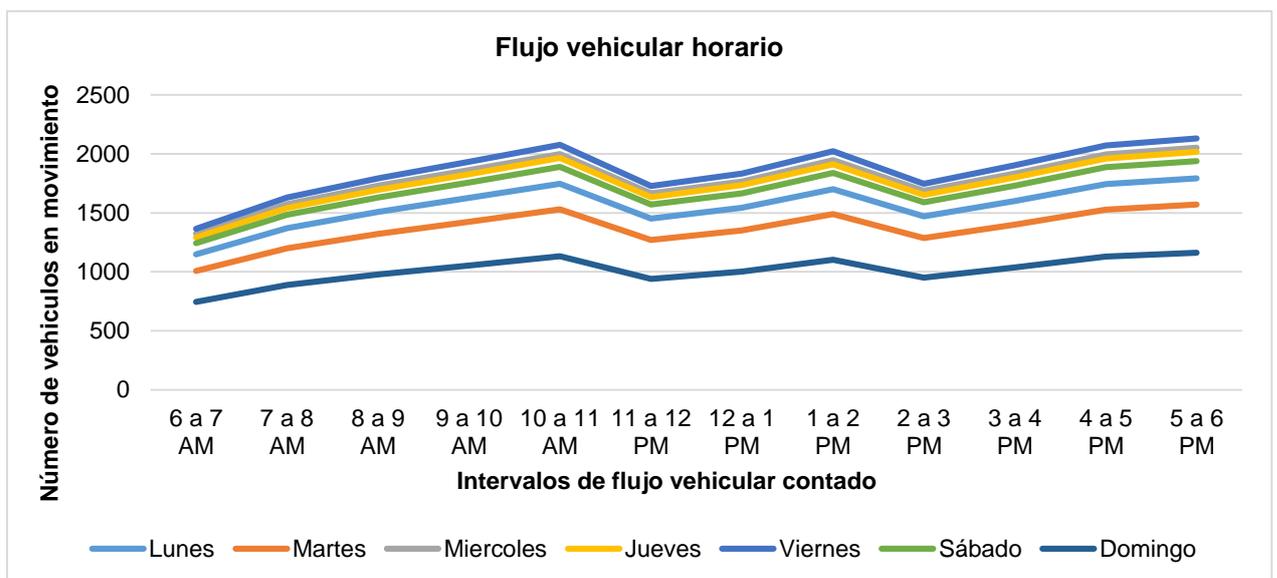


Figura 7. Gráfico del Flujo Vehicular Horario

El flujo vehicular total con respecto a las horas de evaluación se observa que a primeras horas del día desde las 6:00 am el flujo vehicular tiende a incrementarse hacia las horas punta correspondientes a las 10:00 am y 1:00 pm, entre las 10:00 am a 1:00 pm y 2:00 pm a 3:00 pm el flujo vehicular disminuye creándose horas valle, luego a partir de las 3:00 pm el flujo vehicular tiende a incrementarse hasta horas de la tarde noche. También se aprecia que el día con mayor flujo vehicular es el viernes llegando a horas punta con más de 2000 vehículos por hora, así también el día con menor flujo son los domingos con horas mínimas de hasta 700 vehículos por hora.

### **3.2.2 Análisis de la composición del flujo vehicular**

La siguiente tabla muestra la composición del flujo vehicular total para durante el tiempo de evaluación:

Tabla 15

*Composición del Flujo Vehicular Según Categorías y en Porcentajes del Total Vehicular para el Periodo de Estudio.*

Día de evaluación	Moto-taxis	Buses	Autos	Combis	Carga	Totales
Lunes	13585	466	2888	1273	494	18707
Martes	11894	406	2529	1115	433	16377
Miércoles	15412	536	3338	1515	636	21438
Jueves	15276	519	3248	1432	556	21031
Viernes	16151	546	3434	1514	588	22233
Sábado	14693	499	3124	1377	535	20228
Domingo	8804	302	1872	825	320	12124
Porcentaje	72.51%	2.48%	15.46%	6.85%	2.7%	132139

*Fuente: Propia*

Como se observa del cien por ciento de vehículos contabilizados que corresponden a 132139 vehículos, para el periodo de evaluación comprendido desde el lunes 11 de marzo al domingo 17 de marzo del año 2019, el mayor porcentaje de 72.51% corresponden a la categoría vehicular de interés denominada “Moto-taxis”, seguida por los autos que forman un 15.46% (entre estos están taxis, autos particulares, camionetas), seguido de las combis con un 6.85%, entre los últimos están los vehículos de carga pesada con un 2.7% (entre ellos furgonetas, camiones, cisternas, tráilers y maquinaria pesada), y representando el porcentaje menor del total tenemos los buses de pasajeros con un 2.48%.

Los resultados del conteo mecánico muestran que 72.51% del flujo total son moto-taxis las cuales representan un total de 95815 unidades contabilizadas desplazándose sobre la vía de estudio, unidades que pueden ser clasificadas según características técnicas del motor en moto-taxis de 2 tiempos y moto-taxis de 4 tiempos, así mismo el combustible usado por estas unidades puede ser gasolina, GLP o GNV, los dos

primeros combustibles preferidos entre los conductores de estos vehículos, y el último rechazado por estos ya que no otorga la potencia necesaria para poder desplazarse sin problemas según indican los conductores de estas unidades.

A continuación, se presenta la composición de las moto-taxis registrada para el periodo de análisis, según las especificaciones técnicas del motor, cabe aclarar que las moto-taxis de 2 tiempos solo usan gasolina y las moto-taxis de 4 tiempos pueden usar gasolina como gas GLP o GNV, a lo que se denomina sistema dual.

Tabla 16

*Composición del Total de Moto-taxis Según el Tipo de Motor y Tipo de Combustible Usado.*

Tipo de combustible	2 tiempos	4 tiempos
Gasolina	16289	10338
GLP	-	69188
Total	16289	79527
Porcentaje	17%	83%

*Fuente: Propia*

En la tabla 16 se observa que el 83% del total de las unidades registradas son moto-taxis de 4 tiempos y solo el 17% son moto-taxis de 2 tiempos, en cuanto al total de las moto-taxis de 4 tiempos el 87% usan como combustible el GLP y el 13% gasolina, de forma simple podemos afirmar que de cada 10 moto-taxis 2 son de 2 tiempos y 8 son de 4 tiempos, y de cada 10 moto-taxis de 4 tiempos, 8 usan GLP y 2 gasolina.

### **3.2.3 Estimación de emisiones generadas por las Moto-taxis**

Teniendo en cuenta los resultados anteriores sobre la composición del flujo vehicular, las moto-taxis representan el 72.51%, en cuanto a estas y sus dos variantes respecto al tipo de motor que presentan y uso de combustible, se realizó el cálculo de las emisiones.

Para los siguientes cálculos de estimación de emisiones se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones generales, se realizó sobre una vía recta de doble sentido de dos carriles cada sentido de longitud de 300 metros para el número de flujo de vehículos contabilizados con una velocidad promedio de desplazamiento de 20km por hora, para un periodo de 12 horas diurnas de 6:00 am a 6:00 pm durante 7 días (una semana), para el periodo de verano del 2019.

### 3.2.3.1. Emisiones en caliente

La siguiente tabla 17 muestra los resultados en kg de las emisiones calientes de contaminantes primarios liberados a la atmosfera generadas por las moto-taxis, los factores de emisión usados para la estimación se muestran en las tablas 5 y 6:

Tabla 17

*Estimación de Emisiones en Caliente Proveniente de Moto-taxis en kg.*

Contaminante	4 tiempos convencional	2 tiempos convencional	Totales
CO	421.25	103.30	524.55
HCT	511.31	58.93	570.24
NOX	1.85	98.10	99.95
CO2	3767.22	617.40	4384.62
SO2	11.38	11.83	23.21
CH4	3.94	0.73	4.67
N2O	0.04	0.01	0.05
NH3	0.04	0.01	0.05

*Fuente: Propia*

Para el cálculo de la estimación emisiones de moto-taxis de 4 tiempos con uso de combustible GLP se redujo el 20% de las emisiones generadas por un motor gasolina convencional de 4 tiempos.

Se observa que el CO<sub>2</sub> es el mayor contaminante emitido a la atmosfera con 4384.62 kg seguido de los HCT que son hidrocarburos totales y el CO, con 570.24 kg y 524.55 kg respectivamente.

En cuanto al NO<sub>x</sub> se emitieron 99.95 kg, en esta emisión se puede observar que las emisiones de NO<sub>x</sub> provenientes de las moto-taxis de 4 tiempo son mucho menores a las moto-taxis de dos tiempos, esto se debe a que el combustible que usan las moto-taxis de 4 tiempos es GLP que emite mucho menos contaminantes de esta especie a pesar que las moto-taxis de 4 tiempos superan por mucho en cuanto a número a las moto-taxis de 2 tiempos.

El SO<sub>2</sub> total generado es de 23.21 kg, en ambos tipos de moto-taxis se aprecian valores similares lo cual se debe a que el SO<sub>2</sub> solo se puede generar por el contenido de azufre de las gasolinas, para las moto-taxis de 4 tiempos a GLP no se generan emisiones de SO<sub>2</sub> ya que el GLP no contiene azufre y el valor que se muestra de estas proviene del número de moto-taxis que usan gasolina ya que esta si presenta azufre en su composición, en cuanto al valor de las moto-taxis de 2 tiempos el valor es similar ya que estas usan exclusivamente gasolina.

Los contaminantes CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> representan los menores valores de emisiones con 4.67 kg, 0.05 kg y 0.05 kg respectivamente.

### **3.2.3.2. Emisiones por partidas en frio**

La siguiente tabla 18 muestra los resultados en kg de las emisiones por partidas en frio, de contaminantes primarios liberados a la atmosfera generadas por las moto-taxis, para esta estimación se usaron los resultados de las emisiones en caliente, una temperatura promedio del mes de 26°C, un largo de viaje promedio de 2.5 km y las relaciones de emisión presentes en la tabla 7:

Tabla 18

*Estimación de Emisiones por Partidas en Frio Proveniente de Moto-taxis en kg.*

Contaminante	4 tiempos convencional	2 tiempos convencional	Totales
CO	12.48	3.06	15.54
HCT	10.10	1.16	11.26

*Fuente: Propia*

Se observa que las emisiones por partidas en frio son mucho menores a comparación que las emisiones en caliente, presentando cantidades liberadas a la atmosfera de 15.54 kg y 11.26 kg para los contaminantes primarios CO y HCT respectivamente.

### **3.2.3.3. Emisiones evaporativas**

La tabla 19 muestra las emisiones evaporativas generadas de tres fuentes diferentes, emisiones evaporativas generadas por pérdidas durante el recorrido, emisiones evaporativas generadas durante el día, y emisiones evaporativas generadas por las detenciones en caliente.

Para las emisiones evaporativas generadas por pérdidas durante el recorrido se utilizó los factores de emisión presentes en la tabla 8 para una temperatura del motor mayor a 70°C debido a que los moto-taxis están bajo constante desplazamiento, así como el valor de la Presión de Vapor Reíd de 9.3 tanto para moto-taxis de 4 tiempos y 2 tiempos.

Para las emisiones evaporativas generadas durante el día se utilizó los factores de emisión presentes en la tabla 9, una Presión de Vapor Reíd de 9.3 para ambos tipos de vehículos, una temperatura máxima del ambiente de 33°C, una temperatura minina del ambiente de 16°C y una variación de temperatura del ambiente de 17°C.

Para las emisiones evaporativas generadas por las detenciones en caliente se utilizó los factores de emisión presentes en la tabla 10 para una temperatura del motor mayor a 70°C debido a que los moto-taxis están bajo constante desplazamiento, una Presión de Vapor Reíd de 9.3 para ambos tipos de vehículos y un número de viajes promedio realizados por los vehículos con detención en la zona de estudio de 1.

Tabla 19

*Estimación de Emisiones Evaporativas Proveniente de Moto-taxis en kg.*

Tipo	Contaminante	4 tiempos convencional	2 tiempos convencional	Totales
Pérdidas durante el recorrido.	HCT	1.283	0.32	1.603
Durante el día.	HCT	369.368	70.67	440.038
Detenciones en caliente.	HCT	237.685	58.94	296.625
Totales	HCT	608.34	129.93	738.226

*Fuente: Propia*

Se observa en la tabla 19 que las emisiones evaporativas originadas durante el día son las que presentan un mayor valor de emisiones a la atmosfera con 440.038 kg de hidrocarburos totales, esto se debe a que la temperatura elevada del ambiente provoca una mayor evaporación del combustible residual en el sistema de combustión, por detrás de esta se encuentran las emisiones por las detenciones en caliente con un valor de 296.625 kg de hidrocarburos totales, principalmente por el número mínimo de detenciones que se presentan en la sección de vía en estudio en comparación al flujo total de vehículos.

Por ultimo con un valor se encuentran las emisiones evaporativas por pérdidas durante el recorrido 1.603 kg de hidrocarburos totales, estos valores mínimos de deben a que el largo de vía en estudio es de 0.3 km

### 3.2.3.4. Emisiones por desgaste

La tabla 20 presenta las emisiones de material particulado menores a 10 micras (PM10), estas emisiones si bien no tienen origen en el sistema de combustión de los moto-taxis se han considerado para este estudio ya que tienen como fuente de origen el desplazamiento de estos vehículos sobre las vías.

Se presentan 3 diferentes fuentes de emisiones por desgaste de, neumáticos, frenos y superficie, para la realización de la estimación se hizo uso los factores de emisión presentes en la tabla 11, así como el largo de vía de 0.3 km para este estudio.

Tabla 20

*Estimación de Emisiones por Desgaste Proveniente de Moto-taxis en kg.*

Tipo	Contaminante	4 tiempos convencional	2 tiempos convencional	Totales
Desgaste de neumáticos	PM10	0.07	0.01	0.08
Desgaste de frenos	PM10	0.09	0.02	0.11
Desgaste de superficie	PM10	0.07	0.01	0.08
Totales	PM10	0.23	0.04	0.27

*Fuente: Propia*

Las emisiones del PM10 resultantes muestran que las emisiones generadas por el desgaste de neumáticos y superficie presentan valores similares de 0.08 kg cada una, mientras que las emisiones generadas por el desgaste de frenos son las mayores con 0.11 kg.

### 3.2.3.5. Emisiones por polvo

La tabla 21 muestra las emisiones generadas por el polvo resuspendido que generan el flujo de moto-taxis en el área de estudio, si bien no tiene origen en el

sistema de combustión de las moto-taxis, se han considerado para esta estimación de emisiones.

Para la estimación de emisiones generadas por polvo resuspendido se utilizó los factores de emisiones presentes en la tabla 12 y 13 correspondiente a los tamaños de partículas y carga de finos con respecto al flujo vehicular respectivamente, así como el peso del vehículo presente en la tabla 14, y un largo de vía de 0.3 km.

Tabla 21

*Estimación de Emisiones por Polvo Proveniente de Moto-taxis en kg.*

Contaminante	4 tiempos convencional	2 tiempos convencional	Totales
PM 2.5	0.61	0.13	0.74
PM 10	2.55	0.52	3.07
PM 15	3.05	0.63	3.68
PM 30	13.32	2.73	16.05

*Fuente: Propia*

En la tabla 21 se observa que los valores resultantes de la estimación del material particulado según el diámetro de partícula, donde el contaminante emitido a la atmosfera con mayor valor es el PM30 con 16.05 kg relacionado a las partículas solidad totales suspendidas en el aire, luego en menor cantidad está presente el PM15 con 3.68 kg y por ultimo las partículas de diámetros perjudiciales para la salud PM10 y PM2.5 con 3.07 kg y 0.74 kg respectivamente.

### **3.2.3.6. Emisiones totales**

En la siguiente tabla 22 se muestra la sumatoria de la estimación de emisiones nivel 3, para contaminantes primarios generadas por el flujo vehicular de moto-taxis para el periodo de estudio comprendido del 11 de marzo al 17 de marzo del 2019 en

una sección de vía de longitud de 0.3 km, las cuales contienen las emisiones en caliente, por partidas en frío, evaporativas, por desgaste y polvo.

Tabla 22

*Emisiones Totales Generadas por las Moto-taxis en kg.*

Contaminante	4 tiempos convencional	2 tiempos convencional	Totales
CO2	3767.22	617.40	4384.62
HCT	1139.75	190.02	1329.77
CO	433.73	106.36	540.09
SO2	11.38	11.83	23.21
NOX	1.85	98.10	99.95
CH4	3.94	0.73	4.67
N2O	0.04	0.01	0.05
NH3	0.04	0.01	0.05
PM 30	13.32	2.73	16.05
PM 15	3.05	0.63	3.68
PM 10	2.78	0.56	3.34
PM 2.5	0.61	0.13	0.74

*Fuente:* Propia

*Nota:* Los valores totales presentan un nivel de incertidumbre de +/- 5%.

Se observa en la tabla 22 los aportes de contaminantes primarios gaseosos emitidos a la atmosfera generados por las moto-taxis, donde los mayores aportes corresponden a 4384.62 kg de CO2, seguido de los HCT con 1329.77 kg y 540.09 kg de CO. Entre aportes medios se obtuvo 99.95 kg de NOX y 23.21 kg de SO2, los

aportes mínimos corresponden a los contaminantes CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y NH<sub>3</sub> con 4.67 kg, 0.05 kg y 0.05 kg respectivamente.

En cuanto a los contaminantes sólidos resuspendidos en el aire o material particulado se obtuvo 16.05 kg de partículas suspendidas totales o PTS (PM<sub>30</sub>), por detrás de este también se estimó tres diámetros menores adicionales de partículas correspondientes a 15, 10 y 2.5 micras con resultados de 3.68 kg, 3.34 kg y 0.74 kg respectivamente.

## CONCLUSIONES

Se determinó que el comportamiento del flujo vehicular para el periodo de estudio comprendido entre 6:00 am y 6:00 pm horas para los días 11 de marzo al 17 de marzo en la sección de la Avenida Central entre la Avenida Cesar Vallejo y Avenida Simón Bolívar en Villa El Salvador, se obtuvo que los días con mayor flujo vehicular son los viernes con 22,233 vehículos y miércoles con 21,438 vehículos, y los días con menor flujo los días domingos con 12,124 vehículos y martes 16,377 vehículos. Las horas punta del flujo vehicular correspondientes a las 10:00 am y 1:00 pm, entre las 10:00 am a 1:00 pm y 2:00 pm a 3:00 pm el flujo vehicular disminuye, luego a partir de las 3:00 pm el flujo vehicular tiende a incrementarse hasta horas de la tarde noche, y la dirección con sentido sur a norte es la vía con mayor flujo vehicular con un 30% más de vehículos en circulación a comparación del sentido norte a sur debido a un mayor flujo de moto-taxis en esa dirección de vía durante el periodo de estudio.

Se determinó que el total del flujo vehicular contabilizado corresponde a 132,139 vehículos, donde el 72.51% corresponde a las moto-taxis, el 15.46% a autos, el 6.85% a combis, el 2.7% a vehículos de carga y el 2.48% a buses de pasajeros.

Se aplicaron las metodologías presentes en la Guía de Inventarios de Emisiones 2016 EMEP/EEA, se desagregaron y estimaron las emisiones totales con un nivel de incertidumbre del +/- 5% obteniendo que las emisiones en caliente generadas contienen los mayores aportes de emisiones con 4384.62 kg de CO<sub>2</sub>, 570.24 kg de HCT, 524.55 kg de CO, 99.95 kg de NOX, 23.21 kg de SO<sub>2</sub>, 4.67 kg de CH<sub>4</sub>, 0.05 kg de N<sub>2</sub>O y 0.05 kg de NH<sub>3</sub>. Las emisiones evaporativas generaron aportes medios con 738.226 kg de HCT y las emisiones por partidas en frio generaron aportes mínimos con 15.54 kg de CO y 11.26 kg de HCT. La suma total de los contaminantes primarios gaseosos emitidos a la atmosfera generados por las moto-taxis corresponde a 4384.62 kg de CO<sub>2</sub>, 1329.77 kg HCT, 540.09 kg de CO, 99.95 kg de NOX, 23.21 kg de SO<sub>2</sub> y aportes mínimos corresponden a los CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y NH<sub>3</sub> con 4.67 kg, 0.05 kg y 0.05 kg contaminantes respectivamente, y de material particulado resuspendido en el ambiente se obtuvo 16.05 kg de PM<sub>30</sub>, 3.68 kg de PM<sub>15</sub>, 3.34 kg de PM<sub>10</sub> y 0.74 kg de PM<sub>2.5</sub>.

## RECOMENDACIONES

En este estudio se pudo evidenciar que la eficiencia de los motores de las moto-taxis de 4 tiempos y 2 tiempos se ve afectada por el deterioro en el sistema de combustión de estos vehículos, se recomienda realizar estudios comparativos sobre las emisiones con motores de vehículos de otras categorías como autos o buses, y con diferentes tipos de uso de combustibles.

Actualmente los pocos estudios sobre estimación de emisiones en Perú se basan en guías o inventarios de emisiones realizados en otros países de la región y los factores de emisión presentes para los diversos sectores no se encuentran acorde al contexto que tenemos en el país, se recomienda investigar y realizar estudios, para la determinación de factores de emisión propios para el Perú.

En cuanto a las emisiones liberadas a la atmosfera, se recomienda realizar investigaciones y estudios, sobre las condiciones meteorológicas que afectan su dispersión como parámetros meteorológicos, inversión térmica, estaciones del año, entre otros, como también la aplicación de modelos químicos que determinen el porcentaje de los contaminantes primarios que se convierten en contaminantes secundarios como el ozono, PM10 y PM2.5, agentes químicos altamente perjudiciales para la salud.

Se recomienda realizar un inventario de emisiones nivel 2 o 3 para el sector transporte e industrial en Lima Sur, y determinar las áreas como mayores niveles de emisión que requieren una pronta evaluación, para así plantear en conjunto con las autoridades e instituciones competentes medidas de control para la reducción de emisiones, y fiscalizaciones, con el fin de mejorar la calidad de aire en Lima Sur a la cual está expuesta la comunidad.

Debido a que la moto-taxi es el vehículo de mayor demanda por la población en Lima Sur para tramos cortos, se recomienda investigar y desarrollar propuestas para la generación de dispositivos de reducción de emisiones de bajo coste y/o mejoras tecnológicas que permitan hacer esto posible.

Se recomienda realizar una estimación de emisiones para un periodo de tiempo mayor, de tal manera que se puedan comparar semanas o meses consecutivos para las diferentes estaciones del año y así obtener una mejor representación del flujo vehicular y emisiones, así como considerar las variaciones que podrían generar las variables meteorológicas a la hora de estimar las emisiones.

## BIBLIOGRAFIA

- Alfieri, E. (2009). *Emissions-controlled diesel engine* (Doctoral Thesis). Swiss Federal Institute of Technology Zürich, Suiza.
- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias DECRETO SUPREMO N° 003-2017-MINAM (7 de junio del 2017) *El Peruano*, pp. 6-9
- Camargo, Y., Bolaño, T., y Álvarez, A. (2010). Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles de origen biogenico y su contribución a la Dinámica Atmosférica. *Intropica volumen*, (5), 77-86.
- Carcelén, E. (2014). *Estudio de las emisiones atmosféricas de buses urbanos con motores diésel en Lima y Callao en base a la metodología COPERT* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Clasificación Vehicular y Estandarización de Características Registrables Vehiculares Resolución directoral 4848-2006 MTC/15 (24 de agosto del 2006) *El Peruano*.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente, Chile. (2009) *Guía Metodológica para la estimación de Emisiones Atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes*.
- Dawidowski, Sánchez y Alarcón. (2014). *Estimación de emisiones vehiculares en Lima Metropolitana. Informe final*. Lima: SENAMHI/SAEMC.
- DECRETO SUPREMO N° 016-2009-MTC (22 de abril del 2009) *El Peruano*.
- Departamento de salud y servicios humanos. (1999). *Hidrocarburos totales de petróleo (TPH)*. Departamento de salud y servicios humanos. Recuperado de: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts123.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts123.pdf)
- European Environment Agency the European Monitoring and Evaluation Programme. (2016) *Air pollutant inventory guidebook*. Recuperado de <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>
- Gallego, F. (2015). *Estudio bibliográfico del tratamiento de gases de escape en motores de combustión interna alternativos*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, España.

- Girón, R. (2016). *Técnicas de control en la disminución de NOx en motores diésel. Influencia de los sistemas de recirculación de gases de escape de alta y baja presión en distintos parámetros del motor* (Tesis de maestría). Escuela de ingenierías industriales, España.
- Jiménez, G. (2015). Degradación de gases tóxicos provenientes de motores de combustión interna mediante tecnología de plasma frío (Tesis de maestría). Universidad Autónoma del estado de México.
- Johnson, T. (2008). Diesel Engine Emissions and Their Control. *Platinum Metals Rev.* 52(1), 27-30.doi. 10.1595/147106708X248750.
- Manufacturers of emission controls association. (2007), *Emission Control Technologies for Diesel-Powered Vehicles* pp. 10-20.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia (2017) *Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú. (2017) *Anuario estadístico*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Secretaría Técnica del Consejo de Transporte de Lima y Callao, Perú. (2017) *El transporte urbano metropolitano de Lima y Callao en números – a octubre 2010*.
- Ministerio del Ambiente. Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales. Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos, Perú. (2015). *Guía N° 2: Elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero - Sector Energía. Categoría: Combustión Móvil*.
- Naciones Unidas. (2005). *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de las actividades económicas (cuarta edición)* Recuperado de [https://unstats.un.org/unsd/publication/seriesm/seriesm\\_4rev4s.pdf](https://unstats.un.org/unsd/publication/seriesm/seriesm_4rev4s.pdf)
- Ntziachristos, L., Gkatzoflias, D., Kouridis, C., Samaras, Z. (2009) *COPERT: A European Road Transport Emission*. In: *Information Technologies in Environmental Engineering*. Ed. by Athanasiadis, I. et al. Berlin/Heidelberg, Springer.

Oyarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Rev Chil Enf Respir*(26), 16-25. Recuperado de: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcher/v26n1/art04.pdf>

Plan estratégico de seguridad vial 2017 2021 DECRETO SUPREMO N° 019-2017-MTC (8 de setiembre del 2017) *El Peruano*, pp. 2-72.

Quiroz, P., y Huerta, G. (2005) *Informe Técnico: Evaluación de área saturada de la red vial metropolitana de Trujillo*

Saavedra, J. (2014). *Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente e tráfico vehicular* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología, Western Governors' Association, Mexico (2005) *Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones*.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México. (2013). *Guía Metodológica Para Estimación De Emisiones de Fuentes Fijas* (Primera edición)

Serrano, R. (2015). *Análisis de los accidentes causados por vehículos motorizados menores en zonas urbanas – estudio ciudad de Ayacucho* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

United States Environmental Protection Agency. (1995). *Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42 Volume I: Stationary Point and Area Sources* (Fifth Edition) Recuperado de <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>

Vargas, D. (2014). *Análisis de oferta y demanda del servicio de moto-taxis en el distrito de Ventanilla* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

## ANEXOS

### Anexo 1. Vista aérea de la ubicación del área de estudio.



Figura 8. Zona de estudio (Google Earth, 2019).

**Anexo 2.**  
**Fotografías de la zona de estudio y conteo mecánico.**



*Figura 9.* Sección de la Av. Central.



*Figura 10.* Conteo mecánico en el cruce de las avenidas Central y Bolívar.



*Figura 11.* Cruce de las avenidas Central y Cesar Vallejo.

### Anexo 3.

#### Tablas del conteo mecánico de los flujos vehiculares del periodo de estudio.

<b>DIA</b>	Lunes 11 de Marzo
------------	-------------------

DIRECCION	SUR			EN MOVIMIENTO				
HORA	HORA DE EVALUACION			Moto-taxis	Buses	Autos	Combis	Camiones
1	06:00	06:59	AM	334	21	68	39	11
2	07:00	07:59	AM	427	25	85	36	21
3	08:00	08:59	AM	480	21	96	43	25
4	09:00	09:59	AM	505	28	103	53	32
5	10:00	10:59	AM	573	32	92	46	36
6	11:00	11:59	AM	452	28	39	68	11
7	12:00	12:59	PM	498	39	121	57	18
8	13:00	13:59	PM	427	46	128	89	36
9	14:00	14:59	PM	391	53	89	71	18
10	15:00	15:59	PM	480	60	107	89	7
11	16:00	16:59	PM	505	60	107	89	7
12	17:00	17:59	PM	445	39	128	78	4

DIRECCION	NORTE			EN MOVIMIENTO				
HORA	HORA DE EVALUACION			Moto-taxis	Buses	Autos	Combis	Camiones
1	06:00	06:59	AM	534	1	89	36	18
2	07:00	07:59	AM	605	2	107	43	21
3	08:00	08:59	AM	658	0	125	36	25
4	09:00	09:59	AM	722	1	121	39	21
5	10:00	10:59	AM	765	1	132	43	28
6	11:00	11:59	AM	662	0	132	39	21
7	12:00	12:59	PM	637	3	107	39	25
8	13:00	13:59	PM	740	0	157	57	21
9	14:00	14:59	PM	598	2	192	39	18
10	15:00	15:59	PM	619	0	171	39	28
11	16:00	16:59	PM	740	0	167	39	28
12	17:00	17:59	PM	790	1	228	68	14

<b>DIA</b>	Martes 12 de Marzo
------------	-----------------------

DIRECCION	SUR			EN MOVIMIENTO				
HORA	HORA DE EVALUACION			Moto-taxis	Buses	Autos	Combis	Camiones
1	06:00	06:59	AM	293	19	59	34	9
2	07:00	07:59	AM	374	22	75	31	19
3	08:00	08:59	AM	420	19	84	37	22
4	09:00	09:59	AM	442	25	90	47	28
5	10:00	10:59	AM	501	28	81	40	31
6	11:00	11:59	AM	396	25	34	59	9
7	12:00	12:59	PM	436	34	106	50	16
8	13:00	13:59	PM	374	40	112	78	31
9	14:00	14:59	PM	343	47	78	62	16
10	15:00	15:59	PM	420	53	93	78	6
11	16:00	16:59	PM	442	53	93	78	6
12	17:00	17:59	PM	389	34	112	69	3

DIRECCION	NORTE			EN MOVIMIENTO				
HORA	HORA DE EVALUACION			Moto-taxis	Buses	Autos	Combis	Camiones
1	06:00	06:59	AM	467	1	78	31	16
2	07:00	07:59	AM	529	1	93	37	19
3	08:00	08:59	AM	576	0	109	31	22
4	09:00	09:59	AM	632	0	106	34	19
5	10:00	10:59	AM	670	1	115	37	25
6	11:00	11:59	AM	579	0	115	34	19
7	12:00	12:59	PM	557	2	93	34	22
8	13:00	13:59	PM	648	0	137	50	19
9	14:00	14:59	PM	523	1	168	34	16
10	15:00	15:59	PM	542	0	149	34	25
11	16:00	16:59	PM	648	0	146	34	25
12	17:00	17:59	PM	691	1	199	59	12

<b>DIA</b>	Miércoles 13 de Marzo
------------	--------------------------

DIRECCION	SUR			EN MOVIMIENTO				
	HORA	HORA DE EVALUACION		Moto-taxis	Buses	Autos	Combis	Camiones
1	06:00	06:59	AM	379	26	78	46	14
2	07:00	07:59	AM	483	30	98	42	26
3	08:00	08:59	AM	544	26	110	50	30
4	09:00	09:59	AM	572	34	118	62	38
5	10:00	10:59	AM	648	38	106	54	42
6	11:00	11:59	AM	511	34	46	78	14
7	12:00	12:59	PM	564	46	138	66	22
8	13:00	13:59	PM	483	54	146	102	42
9	14:00	14:59	PM	443	62	102	82	22
10	15:00	15:59	PM	544	70	122	102	10
11	16:00	16:59	PM	572	70	122	102	10
12	17:00	17:59	PM	503	46	146	90	6

DIRECCION	NORTE			EN MOVIMIENTO				
	HORA	HORA DE EVALUACION		Moto-taxis	Buses	Autos	Combis	Camiones
1	06:00	06:59	AM	607	0	105	45	25
2	07:00	07:59	AM	688	0	125	53	29
3	08:00	08:59	AM	748	0	146	45	33
4	09:00	09:59	AM	820	0	142	49	29
5	10:00	10:59	AM	868	0	154	53	37
6	11:00	11:59	AM	752	1	154	49	29
7	12:00	12:59	PM	724	0	125	49	33
8	13:00	13:59	PM	840	0	182	69	29
9	14:00	14:59	PM	680	1	222	49	25
10	15:00	15:59	PM	704	0	198	49	37
11	16:00	16:59	PM	840	0	194	49	37
12	17:00	17:59	PM	896	2	262	81	21

<b>DIA</b>	Jueves 14 de Marzo
------------	-----------------------

DIRECCION	SUR			EN MOVIMIENTO				
HORA	HORA DE EVALUACION			Moto-taxis	Buses	Autos	Combis	Camiones
1	06:00	06:59	AM	376	24	76	44	12
2	07:00	07:59	AM	480	28	96	40	24
3	08:00	08:59	AM	540	24	108	48	28
4	09:00	09:59	AM	568	32	116	60	36
5	10:00	10:59	AM	644	36	104	52	40
6	11:00	11:59	AM	508	32	44	76	12
7	12:00	12:59	PM	560	44	136	64	20
8	13:00	13:59	PM	480	52	144	100	40
9	14:00	14:59	PM	440	60	100	80	20
10	15:00	15:59	PM	540	68	120	100	8
11	16:00	16:59	PM	568	68	120	100	8
12	17:00	17:59	PM	500	44	144	88	4

DIRECCION	NORTE			EN MOVIMIENTO				
HORA	HORA DE EVALUACION			Moto-taxis	Buses	Autos	Combis	Camiones
1	06:00	06:59	AM	600	0	100	40	20
2	07:00	07:59	AM	680	2	120	48	24
3	08:00	08:59	AM	740	0	140	40	28
4	09:00	09:59	AM	812	0	136	44	24
5	10:00	10:59	AM	860	1	148	48	32
6	11:00	11:59	AM	744	0	148	44	24
7	12:00	12:59	PM	716	3	120	44	28
8	13:00	13:59	PM	832	0	176	64	24
9	14:00	14:59	PM	672	0	216	44	20
10	15:00	15:59	PM	696	0	192	44	32
11	16:00	16:59	PM	832	0	188	44	32
12	17:00	17:59	PM	888	1	256	76	16

<b>DIA</b>	Viernes 15 de Marzo
------------	------------------------

DIRECCION	SUR			EN MOVIMIENTO				
HORA	HORA DE EVALUACION			Moto-taxis	Buses	Autos	Combis	Camiones
1	06:00	06:59	AM	398	25	80	47	13
2	07:00	07:59	AM	507	30	101	42	25
3	08:00	08:59	AM	571	25	114	51	30
4	09:00	09:59	AM	601	34	123	63	38
5	10:00	10:59	AM	681	38	110	55	42
6	11:00	11:59	AM	537	34	47	80	13
7	12:00	12:59	PM	592	47	144	68	21
8	13:00	13:59	PM	507	55	152	106	42
9	14:00	14:59	PM	465	63	106	85	21
10	15:00	15:59	PM	571	72	127	106	8
11	16:00	16:59	PM	601	72	127	106	8
12	17:00	17:59	PM	529	47	152	93	4

DIRECCION	NORTE			EN MOVIMIENTO				
HORA	HORA DE EVALUACION			Moto-taxis	Buses	Autos	Combis	Camiones
1	06:00	06:59	AM	634	0	106	42	21
2	07:00	07:59	AM	719	2	127	51	25
3	08:00	08:59	AM	782	0	148	42	30
4	09:00	09:59	AM	858	0	144	47	25
5	10:00	10:59	AM	909	1	156	51	34
6	11:00	11:59	AM	787	1	156	47	25
7	12:00	12:59	PM	757	1	127	47	30
8	13:00	13:59	PM	880	0	186	68	25
9	14:00	14:59	PM	710	0	228	47	21
10	15:00	15:59	PM	736	0	203	47	34
11	16:00	16:59	PM	880	0	199	47	34
12	17:00	17:59	PM	939	0	271	80	17

<b>DIA</b>	Sábado 16 de Marzo
------------	-----------------------

DIRECCION	SUR			EN MOVIMIENTO				
HORA	HORA DE EVALUACION			Moto-taxis	Buses	Autos	Combis	Camiones
1	06:00	06:59	AM	362	23	73	42	12
2	07:00	07:59	AM	462	27	92	38	23
3	08:00	08:59	AM	519	23	104	46	27
4	09:00	09:59	AM	546	31	112	58	35
5	10:00	10:59	AM	619	35	100	50	38
6	11:00	11:59	AM	489	31	42	73	12
7	12:00	12:59	PM	539	42	131	62	19
8	13:00	13:59	PM	462	50	139	96	38
9	14:00	14:59	PM	423	58	96	77	19
10	15:00	15:59	PM	519	65	115	96	8
11	16:00	16:59	PM	546	65	115	96	8
12	17:00	17:59	PM	481	42	139	85	4

DIRECCION	NORTE			EN MOVIMIENTO				
HORA	HORA DE EVALUACION			Moto-taxis	Buses	Autos	Combis	Camiones
1	06:00	06:59	AM	577	0	96	38	19
2	07:00	07:59	AM	654	3	115	46	23
3	08:00	08:59	AM	712	0	135	38	27
4	09:00	09:59	AM	781	0	131	42	23
5	10:00	10:59	AM	827	1	142	46	31
6	11:00	11:59	AM	716	0	142	42	23
7	12:00	12:59	PM	689	0	115	42	27
8	13:00	13:59	PM	800	0	169	62	23
9	14:00	14:59	PM	646	0	208	42	19
10	15:00	15:59	PM	669	0	185	42	31
11	16:00	16:59	PM	800	2	181	42	31
12	17:00	17:59	PM	854	1	246	73	15

<b>DIA</b>	Domingo 17 de Marzo
------------	------------------------

DIRECCION	SUR			EN MOVIMIENTO				
HORA	HORA DE EVALUACION			Moto-taxis	Buses	Autos	Combis	Camiones
1	06:00	06:59	AM	217	14	44	25	7
2	07:00	07:59	AM	277	16	55	23	14
3	08:00	08:59	AM	311	14	62	28	16
4	09:00	09:59	AM	327	18	67	35	21
5	10:00	10:59	AM	371	21	60	30	23
6	11:00	11:59	AM	293	18	25	44	7
7	12:00	12:59	PM	323	25	78	37	12
8	13:00	13:59	PM	277	30	83	58	23
9	14:00	14:59	PM	254	35	58	46	12
10	15:00	15:59	PM	311	39	69	58	5
11	16:00	16:59	PM	327	39	69	58	5
12	17:00	17:59	PM	288	25	83	51	2

DIRECCION	NORTE			EN MOVIMIENTO				
HORA	HORA DE EVALUACION			Moto-taxis	Buses	Autos	Combis	Camiones
1	06:00	06:59	AM	346	0	58	23	12
2	07:00	07:59	AM	392	1	69	28	14
3	08:00	08:59	AM	426	1	81	23	16
4	09:00	09:59	AM	468	0	78	25	14
5	10:00	10:59	AM	496	1	85	28	18
6	11:00	11:59	AM	429	0	85	25	14
7	12:00	12:59	PM	413	3	69	25	16
8	13:00	13:59	PM	480	0	101	37	14
9	14:00	14:59	PM	387	0	124	25	12
10	15:00	15:59	PM	401	1	111	25	18
11	16:00	16:59	PM	480	0	108	25	18
12	17:00	17:59	PM	512	1	148	44	9

**Anexo 4.**  
**Datos Meteorológicos de la estación Villa María Del Triunfo**

**Departamento : LIMA      Provincia : LIMA      Distrito : VILLA MARIA DEL TRIUNFO**

**Latitud : 12° 9' 59.01"      Longitud : 76° 55' 11.99"      Altitud : 272**

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DIA</b>	<b>PRECIP (mm)</b>	<b>T°C max</b>	<b>T°C min</b>
2019	Marzo	1	0	28.5	18.9
2019	Marzo	2	0	28	17.6
2019	Marzo	3	0	27.8	18
2019	Marzo	4	0	29	19.8
2019	Marzo	5	0	28.3	17.9
2019	Marzo	6	0	27.6	18
2019	Marzo	7	0	28.6	18.8
2019	Marzo	8	0	29.4	17.6
2019	Marzo	9	0	28.4	19.6
2019	Marzo	10	0	27.5	20.9
2019	Marzo	11	0	28.2	20
2019	Marzo	12	0	28.4	19.8
2019	Marzo	13	0	28.6	21
2019	Marzo	14	0	28.7	20.7
2019	Marzo	15	0	28.6	21
2019	Marzo	16	0	30	20.9
2019	Marzo	17	0	29.2	19.8
2019	Marzo	18	0	28.4	19.8
2019	Marzo	19	0	28.6	19.6
2019	Marzo	20	0	29.7	20.7
2019	Marzo	21	0	30	20
2019	Marzo	22	0	28.7	20.5
2019	Marzo	23	0	30.2	20.8
2019	Marzo	24	0	29.6	21.8
2019	Marzo	25	0	29.4	20
2019	Marzo	26	0	28.9	19.9
2019	Marzo	27	0	29.6	20.4
2019	Marzo	28	0	29.2	20
2019	Marzo	29	0	30.5	20.5
2019	Marzo	30	0	29.6	19
2019	Marzo	31	0	29.5	20.9