

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



“ANÁLISIS DE NUEVOS ESCENARIOS DE EMISIÓN DE  
CONTAMINANTES DEL PARQUE AUTOMOTOR GENERADOS EN UN  
AMBIENTE DE TRÁFICO VEHICULAR”

Presentado por:

JUAN DIEGO SAAVEDRA VARGAS

TESIS PARA OBTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

Lima – Perú

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS

“ANÁLISIS DE NUEVOS ESCENARIOS DE EMISIÓN DE  
CONTAMINANTES DEL PARQUE AUTOMOTOR GENERADOS EN UN  
AMBIENTE DE TRÁFICO VEHICULAR”

Presentado por:

JUAN DIEGO SAAVEDRA VARGAS

Tesis Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

M.S. Luis Yoza Yoza  
PRESIDENTE

Mg.Sc. Ever Menacho Casimiro  
MIEMBRO

Mg. Quim. Lizardo Visitación Figueroa  
MIEMBRO

Mestre. Jerónimo Garcia Villanueva  
PATROCINADOR

DEDICATORIA

*“Dedico este trabajo y este logro  
a mis padres y a Natty, pues  
soy quien soy gracias a ellos”*

## ÍNDICE GENERAL

I.	Introducción.....	pág.1
II.	Revisión de Literatura.....	pág.4
2.1	Lima Metropolitana – Aspectos Generales.....	pág.4
2.1.1	Ubicación Geográfica.....	pág.4
2.1.2	Topográfica y Geomorfología.....	pág.4
2.1.3	Clima.....	pág.5
2.1.4	Demografía.....	pág.5
2.2	Contaminación Atmosférica.....	pág.6
2.2.1	Contaminación del aire.....	pág.6
2.2.2	Fuentes de contaminación.....	pág.6
2.2.3	Tipos de contaminantes.....	pág.10
2.2.4	Principales contaminantes de la atmósfera.....	pág.12
2.2.5	Contaminación debido a fuentes móviles.....	pág.16
2.2.6	Efectos sobre la salud.....	pág.17
2.2.7	Efectos sobre el medio ambiente.....	pág.21
2.2.8	Contaminación atmosférica en Lima Metropolitana.....	pág.24
2.3	Parque automotor de Lima Metropolitana.....	pág.25
2.3.1	Proyecciones vehiculares.....	pág.25
2.3.2	Transporte público.....	pág.26
2.3.3	Parque automotor como principal fuente de contaminación.....	pág.27
2.4	Marco Legal.....	pág.28
2.4.1	Emisiones vehiculares.....	pág.28
2.4.2	Contenido de azufre en el diésel.....	pág.28
2.4.3	Renovación del parque automotor para fomentar el cambio de matriz energética.....	pág.29
2.4.4	Régimen temporal de renovación del parque automotor para fomentar el cambio de matriz energética.....	pág.29
2.4.5	Reglamento de inspecciones técnicas vehiculares.....	pág.29
2.5	Congestión vehicular.....	pág.30
2.5.1	Definición.....	pág.30
2.5.2	Causas de la congestión vehicular.....	pág.31

2.5.3	Características de la congestión vehicular.....	pág.32
2.5.4	Congestión vehicular en Lima Metropolitana.....	pág.33
2.6	Emisiones vehiculares.....	pág.34
2.6.1	Emisiones evaporativas.....	pág.34
2.6.2	Emisiones por el tubo de escape.....	pág.35
2.6.3	Emisiones de frenos y neumáticos.....	pág.36
2.7	Modelos de Emisión de contaminantes atmosféricos.....	pág.36
2.7.1	Factores de emisión.....	pág.37
III.	Materiales y métodos.....	pág.38
3.1	Área de estudio.....	pág.38
3.2	Diseño de la investigación.....	pág.39
3.3	Materiales y equipos.....	pág.40
3.4	Métodos.....	pág.42
3.4.1	Etapa de recolección de información – Encuestas de tráfico vehicular.....	pág.43
3.4.2	Etapa de recolección de información – Información del parque automotor.....	pág.44
3.4.3	Etapa de recolección de información – Estimación de velocidad promedia vehicular.....	pág.46
3.4.4	Etapa de recolección de información – Estimación de emisión de contaminantes.....	pág.48
3.4.5	Etapa de análisis de variables y escenarios generados.....	pág.54
3.4.6	Etapa de comparación entre un ambiente con congestión vehicular y otro sin congestión vehicular.....	pág.57
IV.	Resultados y Discusiones.....	pág.58
4.1	Recolección de información.....	pág.58
4.2	Análisis de variables y escenarios generados.....	pág.71
4.3	Comparación entre un ambiente con congestión vehicular y otro sin congestión vehicular.....	pág. 79
V.	Conclusiones.....	pág.93
VI.	Recomendaciones.....	pág.96
VII.	Referencias Bibliográficas.....	pág.97
VIII.	Anexos.....	pág.101

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Contaminantes secundarios.....	pág.11
Cuadro 2.	Factor de emisiones evaporativas en circulación.....	pág.50
Cuadro 3.	Factor de emisión.....	pág.51
Cuadro 4.	Fracción de masa de material particulado para el desgaste de neumáticos y frenos.....	pág.53
Cuadro 5.	Factor de corrección para el desgaste de neumáticos y frenos...	pág.53
Cuadro 6.	Factor de emisión de vehículos híbridos.....	pág.55
Cuadro 7.	Factor de emisión de vehículos livianos a gas natural.....	pág.56
Cuadro 8.	Factor de emisión de buses a gas natural.....	pág.56
Cuadro 9.	Emisiones en caliente (kg/año).....	pág.63
Cuadro 10.	Emisiones en caliente (kg/año) – ambiente sin congestión vehicular.....	pág.84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Representación de los diferentes efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud.....	pág.18
Figura 2.	Concentración máxima de contaminantes en la atmósfera.....	pág.24
Figura 3.	Evolución del parque automotor en Lima (millones de vehículos) y la relación Número de habitantes/Vehículos.....	pág.26
Figura 4.	Emisiones Vehiculares v.s Industriales.....	pág.27
Figura 5.	Emisiones Vehiculares (tubo de escape y evaporativas).....	pág.36
Figura 6.	Área de estudio.....	pág.38
Figura 7.	Encuestas de congestión vehicular.....	pág.43
Figura 8.	Grabación del flujo vehicular en el área de estudio.....	pág.44
Figura 9.	Conteo vehicular de forma manual.....	pág.45
Figura 10.	Estimación de velocidad vehicular.....	pág.47
Figura 11.	Hora de mayor congestión vehicular en el área de estudio.....	pág.58
Figura 12.	Tránsito vehicular promedio.....	pág.60
Figura 13.	Valor porcentual del tránsito vehicular.....	pág.60
Figura 14.	Velocidad vehicular promedio.....	pág.61
Figura 15.	Hidrocarburos evaporados – Gasolina.....	pág.64
Figura 16.	Emisiones provenientes del desgaste de neumáticos.....	pág.66
Figura 17.	Emisiones totales provenientes del desgaste de neumáticos.....	pág.67
Figura 18.	Emisiones provenientes del desgaste de frenos.....	pág.68
Figura 19.	Emisiones totales provenientes del desgaste de frenos.....	pág.69
Figura 20.	Emisiones totales.....	pág.70
Figura 21.	Variación de las emisiones totales al modificar la velocidad vehicular.....	pág.72
Figura 22.	Variación de las emisiones totales al convertir vehículos a gasolina y diésel a gas natural.....	pág.74
Figura 23.	Variación de las emisiones totales al reemplazar automóviles y camionetas a gasolina por vehículos híbridos.....	pág.76

Figura 24.	Variación de las emisiones totales al modificar la cantidad de vehículos que utilizan convertidores catalíticos ..... pág.78
Figura 25.	Hora de menor congestión vehicular..... pág.79
Figura 26.	Valor porcentual vehicular – Ambiente sin congestión vehicular..... pág.81
Figura 27.	Comparación del tránsito vehicular promedio..... pág.81
Figura 28.	Comparación de velocidades vehiculares promedio..... pág.83
Figura 29.	Comparación de emisiones en caliente según el contaminante...pág.85
Figura 30.	Comparación de emisiones de hidrocarburos evaporados (Gasolina)..... pág.86
Figura 31.	Comparación de emisiones provenientes del desgaste de neumáticos..... pág.87
Figura 32.	Comparación de emisiones totales provenientes del desgaste de neumáticos ..... pág.88
Figura 33.	Comparación de emisiones provenientes del desgaste de frenos.....pág.89
Figura 34.	Comparación de emisiones totales provenientes del desgaste de frenos..... pág.90
Figura 35.	Comparación de emisiones totales según las categorías vehiculares..... pág.91
Figura 36.	Comparación de emisiones totales..... pág.92

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Categorías vehiculares.....	pág.101
Anexo 2.	Factores de emisión (gr/km).....	pág.102
Anexo 3.	Uso de combustibles vehiculares en el área de estudio.....	pág.103
Anexo 4.	Tipos de motocicletas.....	pág.104
Anexo 5.	Presión de vapor Reid – Gasolina.....	pág.104
Anexo 6.	Comportamiento del CO.....	pág.105
Anexo 7.	Uso de convertidores catalíticos.....	pág.106

## RESUMEN

Las emisiones vehiculares es un tema de gran importancia en las grandes ciudades del mundo no solo por los daños que ocasionan en la salud sino también por los efectos que tienen en el medio ambiente. Este problema se agrava aún más cuando se presenta un escenario de congestión vehicular en donde los vehículos pasan más tiempo en funcionamiento y las velocidades descienden notablemente. El presente trabajo de investigación estimó las emisiones proveniente de los vehículos durante su recorrido en una sección de 1.41 kilómetros en una de las principales avenidas de la ciudad de Lima a la hora de mayor congestión vehicular utilizando la metodología chilena Modem, para luego crear nuevos escenarios de emisión de contaminantes al modificar las principales variables relacionadas al proceso como lo son; la velocidad promedio, uso de nuevos combustible y tecnologías (gas natural vehicular y vehículos híbridos) y la implementación de convertidores catalíticos. Así mismo, se compararon las emisiones obtenidas con las producidas en un ambiente libre de congestión vehicular para cuantificar la magnitud de este fenómeno. De acuerdo a los resultados, las emisiones generadas en un ambiente de tráfico ascendieron a 18407.0 kg/año (902.3 kg/año más comparado con lo que se produce en un ambiente sin congestión vehicular). Del mismo modo, las emisiones comienzan a disminuir a razón que la velocidad promedio vehicular aumenta hasta llegar a un punto mínimo de emisión logrando una reducción del 31 por ciento a la velocidad de 60 km/hora, luego de esto, las emisiones aumentan nuevamente mientras la velocidad siguen en ascenso. Por último, las emisiones vehiculares descienden 2.7, 3.4 y 2.3 por ciento a razón que el 5 por ciento del parque automotor son reemplazados por vehículos a gas natural, vehículos híbridos y vehículos con convertidores catalíticos respectivamente.

Palabras claves: emisiones vehiculares, congestión vehicular, metodología Modem, vehículos híbridos, convertidores catalíticos.

## ABSTRACT

Vehicle emissions are very important in the biggest cities of the world not only for the damage it cause in people's health but also for the effects it could have in the environment. This problem increased when a traffic vehicular environment occurs, where vehicles spend more time running and the average speed drops significantly. This research estimated the vehicle emissions during their path in 1.41 kilometer at one of the most important avenue of Lima when the worst traffic environment occurs, using the chilean methodology Modem to later create new emissions scenarios by changing the most important variables related to the process like for example; vehicular speed, use of new fuels and technology (natural gas and hybrid vehicle) and the implementation of catalytic converters. As well, the estimated emissions were compared with those produced in a non-vehicular traffic environment to quantify the magnitude of this phenomenon. According with the results, the emissions generated in a vehicular traffic environment were 18407.0 kg/year (902.3 more compared with those generated in a non-vehicular traffic environment). Likewise, the emissions tend to decrease while the vehicle speed increases reaching a minimum value of emission and achieving a reduction of 31 percent at the speed of 60 km/hour, after this, the emissions start increasing again while the vehicle speed continue to ascend. Finally, vehicle emissions decrease 2.7, 3.4 y 2.3 percent whereas that the 5 percent of vehicles are replaced by natural gas vehicles, hybrid vehicles and vehicles with catalytic converters, respectively.

Key words: vehicle emissions, vehicular traffic, Modem methodology, hybrid vehicle, catalytic converters

## I. INTRODUCCIÓN

La congestión vehicular es un fenómeno en ascenso en la ciudad de Lima Metropolitana. La oferta de vehículos más accesibles, el ritmo de aumento del ingreso per cápita, la demanda de movilidad urbana y la falta de reglamentos técnicos vehiculares estrictos inciden en forma positiva en la cantidad de vehículos que transitan hoy en día por nuestra ciudad, lo cual se traduce en una mayor congestión vehicular y un aumento significativo en las emisiones de gases que se descargan a la atmósfera. Es así que, según la Dirección de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente (2013), se le atribuye al parque automotor ser responsable del 70 por ciento de la contaminación atmosférica en nuestro país, la cual repercute directamente en la salud y malestar de las personas.

De acuerdo a Inche (2001), la estimación de emisiones para vehículos automotores en circulación que generan una serie de contaminantes entre los que destacan, compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), material articulado (PTS, PM10 y PM2,5), plomo y especies reductoras de la visibilidad, tienen impactos negativos sobre la salud pública y, según la Defensoría del Pueblo (2006), son los niños, enfermos, mujeres gestantes y ancianos de los sectores económicos más pobres y excluidos los más perjudicados.

Según La Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Vehiculares (2007), la cantidad de emisiones que produce un vehículo automotor en funcionamiento depende de una serie de factores como por ejemplo el tipo y la calidad de combustible, la antigüedad del vehículo, su tecnología, el recorrido promedio que realiza, entre otros, y esto empeora aún más si se presenta un ambiente de congestión vehicular en donde las velocidades se reducen considerablemente y los vehículos permanecen un mayor tiempo en funcionamiento. En tal sentido, reducir los actuales niveles de riesgo para la salud de la población en Lima Metropolitana pasa necesariamente por considerar medidas o herramientas de control dirigidas a cada una de las variables mencionada anteriormente a fin de conseguir una

reducción sostenible de las emisiones vehiculares. Pero antes de eso, es primordial conocer el funcionamiento de dichas variables y su relación con las emisiones vehiculares.

Actualmente la medición de emisiones de fuentes vehiculares presenta un gran reto ya que, a diferencia de las fuentes puntuales, no es factible su medición debido a la gran cantidad y variedad de vehículos en circulación, es por eso que existen técnicas indirectas de estimación de emisiones las cuales no involucran mediciones en cada una de las fuentes, sino que utilizan los resultados de miles de mediciones directas realizadas en otras áreas de estudio y las correlacionan con la flota deseada y con los parámetros locales que la pudiera afectar obteniendo así resultados muy cercanos a la realidad (Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Vehiculares, 2007).

Una de esas técnicas es el uso de factores de emisión que pueden ser estimados para cada tipo o categoría vehicular de manera general constituyendo lo que se conoce como factores de emisiones globales. Dichos factores, orientados a estimar la cantidad de contaminación generada por el parque automotor, poseen variables que se ajustan a las características de la localidad en donde se desea llevar a cabo el estudio.

Por lo anterior mencionado resulta necesario, antes de establecer medidas correctivas o herramientas de control contra la contaminación atmosférica generada por el tráfico vehicular, conocer el comportamiento de las distintas variables responsables de dichas emisiones las cuales se pueden evaluar de una manera práctica con la ayuda de los factores de emisiones globales.

Por ello, en el siguiente trabajo de investigación se realizó la estimación de las emisiones vehiculares generadas en un ambiente de congestión vehicular en una zona determinada de Lima Metropolitana usando la técnica indirecta de factores de emisión, del mismo modo se generaron y analizaron nuevos escenarios modificando las variables involucradas en dicho proceso. Así mismo, se realizó una comparación de emisiones vehiculares entre este ambiente y otro en donde el flujo de vehículos fue moderado.

**a) OBJETIVO GENERAL**

- Analizar los diferentes escenarios de emisión de contaminantes generados en un ambiente de congestión vehicular en la avenida Javier Prado Oeste al modificar las variables; velocidad de recorrido, tipo de combustible y uso de convertidores catalíticos, y comparar las emisiones estimadas en dicho ambiente con las producidas en uno libre de congestión.

**b) OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estimar las emisiones del parque automotor en la avenida Javier Prado Oeste a la hora de mayor congestión vehicular.
- Analizar la variación de emisión de contaminantes del parque automotor generados al modificar variables tales como; velocidad de recorrido, tipo de combustible y uso de convertidores catalíticos.
- Determinar las diferencias de emisiones entre un ambiente de congestión vehicular y otro sin congestión vehicular.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 LIMA METROPOLITANA – ASPECTOS GENERALES**

#### **2.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

Situada en la costa central del Océano Pacífico, Lima alcanza una altitud de 101 metros sobre el nivel del mar. Bordea el litoral, aproximadamente, en el kilómetro 50 de la Panamericana Norte desde el distrito de Ancón, hasta el distrito de Pucusana, este último cercano al kilómetro 70 de la Panamericana Sur (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2013).

Latitud : 12°2' S

Longitud : 77°1' O

#### **2.1.2 TOPOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA**

Según Aguilar y Alva (2004), el área de Lima Metropolitana es predominantemente plana con pendiente de 4 a 5 por ciento en dirección NE-SO. Se ubica sobre los abanicos de deyección cuaternarios de los ríos Rímac y Chillón, enmarcados en rocas sedimentarias e intrusivas. Los sedimentos del río Chillón son finos y las gravas son de origen volcánico, en cambio los del río Rímac provienen de rocas intrusivas.

Lima tiene condiciones orográficas y meteorológicas particulares que la hacen propensa a la contaminación atmosférica. Está limitada, por el oeste y este, con el mar y las últimas estribaciones de la cordillera de los Andes respectivamente, y por el sur y el norte se encuentra influida por las cuencas de los ríos Lurín y Chillón. Estas condiciones restringen la dispersión horizontal de los contaminantes aéreos (Vizcarra, 2006).

### **2.1.3 CLIMA**

Lima posee un clima suave y fresco durante todo el año, tiene una temperatura ambiental que oscila entre 12°C en invierno, y 28°C en verano, convirtiéndola así en una ciudad costera de clima templado, pues la humedad relativa varía entre 80 y 100 por ciento durante todo el año (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2013).

Las precipitaciones son escasas presentándose mayormente en forma de garúa durante los meses de invierno, con un acumulado anual de 2 mm.

En cuanto a la dirección predominante de los vientos, estos provienen del Sur y Suroeste con intensidades promedio de 2 a 3 m/s (SENAMHI, 2013).

### **2.1.4 DEMOGRAFÍA**

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), la población estimada de Lima Metropolitana, para comienzos del año 2012, fue de 8 432 837 habitantes. Del mismo modo se espera que a mediados de año la población ascienda a 8 481 415 personas, lo que representaría el 28,14 por ciento de la población nacional. De ese total, 4 120 828 serían hombres y 4 365 587 mujeres.

La densidad de Lima es de 3 126 habitantes/km<sup>2</sup>, mucho mayor al promedio nacional que se encuentra en 23.2 habitantes/km<sup>2</sup> (INEI, 2011).

La población adulta mayor (de 60 años a más) representa el 9.8 por ciento del número de habitantes de esta ciudad mientras que la población joven (15 a 29 años) el 27.7 por ciento (INEI, 2011).

## **2.2 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**

### **2.2.1 CONTAMINACIÓN DEL AIRE**

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), existe contaminación del aire cuando en su composición aparecen una o varias sustancias extrañas, en determinadas cantidades y durante determinados periodos de tiempo, que pueden resultar nocivas para el ser humano, los animales, las plantas o las tierras, y/o perturbar el bienestar y el uso de los bienes.

El llamado aire puro en realidad no existe, puesto que hay un intercambio constante de materia entre los seres vivos, la hidrósfera, la atmósfera y la litósfera. Sin embargo, es posible que nunca antes la contaminación del aire haya sido tan importante como lo es en la actualidad (Flores, 1997).

### **2.2.2 FUENTES DE CONTAMINACIÓN**

Según Mcgraw (2009), las fuentes de contaminantes atmosféricos se pueden agrupar en dos tipos según su origen:

#### **a) Fuentes naturales**

Comprenden las emisiones de contaminantes generados por la actividad natural de la geósfera, biósfera e hidrósfera. Entre las cuales se encuentran (Mcgraw, 2009):

- Erupciones volcánicas: Aportan a la atmósfera compuestos de azufre y gran cantidad de partículas que se diseminan como consecuencia de la acción del viento convirtiéndose en una de las principales causas de contaminación.

- Incendios forestales: Los que producen de forma natural y emiten altas concentraciones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), óxido de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), humo, polvo y cenizas.
- Ciertas actividades de los seres vivos: Como por ejemplo, procesos de respiración, los cuales incrementan la cantidad de  $\text{CO}_2$  en el ambiente; procesos de reproducción y floración en plantas anemófilas (las que se polinizan a través del aire) como las gramíneas, los olivos y las arizónicas, las cuales producen polen y esporas que, al concentrarse en el aire, se convierte en la causa principal de alergias respiratorias conocida como polinosis (puede llegar a afectar a más del 20 por ciento de la población en un ambiente urbano); la descomposición anaerobia de la materia orgánica la cual genera gran cantidad de metano ( $\text{CH}_4$ ), etc.
- Descargas eléctricas: Generadas durante las tormentas y que dan lugar a la formación de  $\text{NO}_x$  al oxidar el nitrógeno atmosférico.
- El mar: El cual emite cantidades considerables de partículas salinas al aire.

**b) Fuentes artificiales o antropogénicas**

Es consecuencia de las actividades humana y cuya mayor parte proviene del uso de combustible fósil (carbón, petróleo y gas). Entre las principales actividades generadoras de contaminación atmosférica podemos destacar las siguientes (Mcgraw, 2009):

- En el hogar: El uso de calefacción y otros aparatos domésticos que emplean como fuente de generación de calor el combustible de origen fósil. El mayor o menor grado de dicha contaminación se debe al tipo de combustible, así como al diseño y estado de conservación de los aparatos empleados.

- En el transporte: Las emisiones provenientes de la combustión en los vehículos generan una gran cantidad de contaminantes atmosféricos siendo el automóvil y el avión los que un mayor grado de contaminación ocasionan. Para el caso específico del automóvil, la magnitud de contaminación depende de la clase de combustible utilizado, del tipo de motor, el uso de catalizadores y la densidad del tráfico.
- En la industria: La contaminación del aire en este sector depende del tipo de actividad que se realice, siendo las centrales térmicas, cementeras, siderometalúrgicas, papeleras y químicas las que más contaminan.
- En la agricultura y ganadería: El uso intensivo de fertilizantes y la elevada concentración de ganado vacuno provoca un aumento de gases de efecto invernadero como el CH<sub>4</sub>.
- En la eliminación de residuos sólidos: La incineración es un proceso muy frecuente que impacta en forma negativa la calidad del aire.

Es importante mencionar que las emisiones de origen natural son más elevadas a nivel global, mientras que las emisiones de origen humano lo son a nivel local o regional. La contaminación antropogénica es más importante por localizarse en puntos geográficos concretos, como zonas urbanas o industriales, donde se incrementa la concentración de los contaminantes que pueden reaccionar entre sí, formando otros nuevos, y en donde la existencia de sumideros como la vegetación son menores (Mcgraw, 2009).

Según Caminos, Enrique, Ghirardi, Graizaro, Russillo y Pacheco (2007), las fuentes antropogénicas a su vez también se pueden dividir en dos grandes grupos que se clasifican según su movilidad, en donde se encuentran las fuentes móviles y las fuentes fijas.

**a) Fuentes móviles**

Emiten contaminantes mientras se encuentran en movimiento. Un claro ejemplo de este tipo de fuente es el transporte urbano, como colectivos, camiones, automóviles, etc.

**b) Fuentes fijas**

Fuentes que permanecen estacionarias, como por ejemplo las centrales termoeléctricas, industrias, etc.

Según el área que comprenden, las fuentes de contaminación del aire también se pueden clasificar en fuentes puntuales, líneas de emisión y áreas de emisión (Camino et. al 2007):

**a) Fuentes puntuales**

Son fuentes individuales y únicas que emiten gases y partículas a la atmósfera. Están localizadas en un punto y permanecen fijas en el tiempo.

**b) Líneas de emisión**

Son emisiones de contaminantes con geometría rectilínea. Un claro ejemplo de este tipo de fuente de contaminación son las carreteras las cuales se analizan promediando las emisiones por unidad de longitud teniendo en cuenta la densidad de vehículos que circulan.

**c) Área de emisión**

Es la sumatoria de varias fuentes puntuales que existen en una superficie determinada y en un tiempo determinado.

### **2.2.3 TIPOS DE CONTAMINANTES**

Los contaminantes se dividen en dos grandes grupos con el criterio de si han sido emitidos desde una fuente conocida o se han formado en la atmósfera. Es así que existen contaminantes primarios y secundarios (Mcgraw, 2009):

**a) Contaminantes Primarios**

Son sustancias de naturaleza y composición química variada, emitidas directamente a la atmósfera desde distintas fuentes perfectamente identificables. Se incluyen dentro de este grupo al plomo (Pb), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), hidrocarburos (HC), material particulado (PM), entre otros (Mcgraw, 2009).

Según Mcgraw (2009), todos ellos constituyen más del 90 por ciento de los contaminantes del aire.

**b) Contaminantes Secundarios**

Los contaminantes secundarios no provienen directamente de los focos emisores sino que se originan a partir de los contaminantes primarios mediante reacciones químicas que tienen lugar en la atmósfera. Entre los más importantes se encuentran el ozono troposférico (O<sub>3</sub>), nitratos de peroxiacetilo (PAN), sulfatos (SO<sub>4</sub>), nitratos (NO<sub>3</sub>), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), entre otros.

**Cuadro 1: Contaminantes secundarios**

<b>Contaminantes</b>	<b>Características</b>	<b>Origen</b>	<b>Evolución en la atmósfera</b>
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ).	Gas incoloro, se condensa fácilmente.	Se forma a partir del SO <sub>2</sub> .	Reacciona con el ion hidroxilo y pasa a ácido sulfúrico.
Trióxido de Nitrógeno (NO <sub>3</sub> ).	Gas fácilmente oxidable.	Oxidación del ozono a partir del NO <sub>2</sub> .	Interviene en reacciones fotoquímicas de formación de smog.
Ácido Sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ).	Sustancias con un elevado poder corrosivo.	Productos finales de la oxidación de compuestos atmosféricos que contienen azufre o nitrógeno.	Precipitan como lluvia ácida.
Ácido Nítrico (H <sub>2</sub> NO <sub>3</sub> ).	Agentes oxidantes.		
Ozono Troposférico (O <sub>3</sub> ).	Gas de color azul pálido, irritante y picante. Elevado poder oxidante.	Intrusiones estratosféricas. Erupciones volcánicas. Descargas eléctricas en tormentas. Fermentaciones.	Reacciona con otros contaminantes. Componente del smog fotoquímico.
Nitratos de peroxiacetilo (PAN).	Sustancia de gran poder oxidante.	Reacciones fotoquímicas a partir de óxidos de nitrógenos y COV generados por el tráfico urbano. Reacciones fotoquímicas a partir de COV.	Componente del smog fotoquímico.

FUENTE: McGraw, 2009

## 2.2.4 PRINCIPALES CONTAMINANTES DE LA ATMÓSFERA

### a) Óxidos de Carbono

- Dióxido de carbono

Es un gas sin color, olor ni sabor, que se encuentra presente en la atmósfera de forma natural. No es tóxico y desempeña un papel fundamental en el ciclo del carbono en la naturaleza. (Echarri, 2007).

Este gas produce un importante efecto de atrapamiento de calor, conocido como efecto invernadero y su aumento, debido a la quema de combustible fósil y de grandes extensiones de bosques en los últimos años, está ocasionando daños socio-ambientales a nivel global (Echarri, 2007).

- Monóxido de carbono

Es un gas sin color, olor ni sabor y se considera tóxico porque envenena la sangre al combinarse fuertemente con la hemoglobina reduciendo drásticamente la capacidad de transportar oxígeno (Echarri, 2007).

La actividad humana lo genera en grandes cantidades siendo, después del CO<sub>2</sub>, el contaminante emitido en mayor proporción a la atmósfera por causas no naturales. Se origina como resultado de la combustión incompleta de la gasolina en los motores de los vehículos (Echarri, 2007).

## **b) Óxidos de azufre**

### **- Dióxido de azufre**

Es un gas incoloro y no inflamable, de olor fuerte e irritante. Alrededor de la mitad que llega a la atmósfera vuelve a depositarse en la superficie, y el resto se convierte en iones sulfato. Una gran cantidad de este gas es emitido por actividades humanas, sobre todo por la metalurgia y por la combustión de carbón y petróleo, pero también se encuentra presente en el ambiente de forma natural debido a la actividad volcánica. (Echarri, 2007).

### **- Trióxido de azufre**

Se forma cuando el  $\text{SO}_2$  reacciona con el oxígeno en la atmósfera. Posteriormente este gas reacciona con el agua formando ácido sulfúrico contribuyendo a la formación de “lluvia ácida” la cual produce daños importantes en la salud y en la reproducción de peces y anfibios, y contribuye con la corrosión de metales y con la destrucción de monumentos (Echarri, 2007).

## **c) Óxidos de Nitrógeno**

El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) se suelen considerar en conjunto con la denominación de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). Los óxidos de nitrógeno son liberados al aire a través del el tubo escape de vehículos motorizados y durante procesos tales como el grabado de metales y detonación de dinamita (Agency for toxic substances and disease registry, 2002).

#### **d) Compuestos Orgánicos Volátiles**

Los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) son hidrocarburos que contienen de 2 a 20 átomos de carbono por molécula. Son esenciales para la formación de contaminantes secundarios y debido a las características tóxicas que varios de ellos poseen, pueden representar un peligro potencial para la salud de la población (Sánchez, Vega, Reyes y Mugica, 2004).

##### **- Metano**

Es el más abundante e importante de los hidrocarburos atmosféricos. Es un contaminante primario que se forma de manera natural en diversas reacciones anaeróbicas del metabolismo como por ejemplo en el ganado, en donde las reacciones de putrefacción y digestión forman cantidades considerables de este gas. Así mismo, se forman grandes cantidades de este contaminante en varios procesos de origen humano, hasta constituir cerca del 50 por ciento del total emitido a la atmósfera (Echarri, 2007).

Se considera que no produce daños en la salud ni en los seres vivos, pero influye de forma significativa en el efecto invernadero y en las reacciones estratosféricas (Echarri, 2007).

##### **- Clorofluorocarburos (CFC)**

Son moléculas orgánicas formadas por átomos de cloro y flúor unidos al carbono. Se utilizan mucho en los sprays, frigoríficos, etc. Son de carácter importante por su papel en la destrucción del ozono en las capas altas de la atmósfera (Echarri, 2007).

#### **e) Partículas y aerosoles**

La palabra partícula se refiere a una porción ínfima de un material. En la atmósfera hay diversas partículas suspendidas como por ejemplo el polvo, polen, hollín, metales (plomo, cadmio), sales, etc. Algunas de estas partículas son especialmente tóxicas para los humanos y, es principalmente en las grandes ciudades, en donde se convierten en un contaminante de alto riesgo para la salud de todos los seres vivos (Echarri, 2007).

Así mismo, el término aerosol se refiere a una mezcla heterogénea de partículas sólidas o líquidas suspendidas en un gas. Los aerosoles pueden influir sobre el clima de una manera ambigua. Por un lado producen calentamiento al absorber la radiación solar y por el otro, provocan enfriamiento al reflejar parte de dicha radiación que incide en la atmósfera. Por este motivo, no está totalmente clara la influencia de este contaminante; probablemente contribuye al calentamiento en las áreas urbanas y al enfriamiento cuando están dispersos en la alta atmósfera (Echarri, 2007).

#### **f) Ozono**

Es un gas incoloro y cuyo olor se detecta a niveles muy bajos. Se forma como resultado de la interacción entre compuestos orgánicos y óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar. También es formado por cualquier otra fuente de energía de gran capacidad, como rayos, equipos eléctricos de alto voltaje y dispositivos para purificación del agua (Bromberga y Korenb, 1995).

Según Muñoz, Quiroz y Paz (2006), el ozono es uno de los principales contaminantes atmosféricos presentes en las zonas altamente industrializadas y en ciudades con gran cantidad de automóviles ya que, más de la mitad de los ingredientes necesarios para su producción provienen de las emisiones del tubo de escape de los vehículos.

## 2.2.5 CONTAMINACIÓN DEBIDO A FUENTES MÓVILES

En las grandes áreas urbanas una de las principales fuentes de contaminación atmosférica la constituyen los vehículos automotores los cuales han ido aumentando en forma considerable en las últimas décadas (Camino et. al, 2007).

Según Camino et. al (2007), los principales contaminantes emanados por los vehículos automotores son:

- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de nitrógenos (NO<sub>x</sub>)
- Hidrocarburos no quemados (HC)

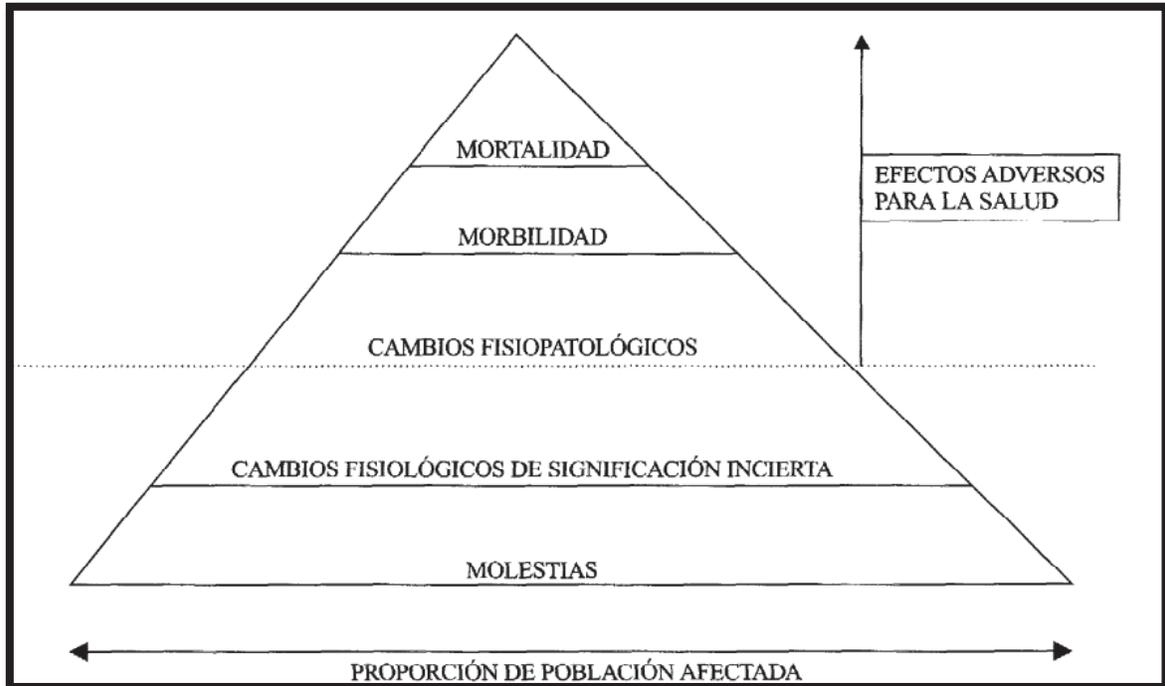
Las proporciones en las que se emiten estos contaminantes varían dependiendo del tipo de motor que se utilice. Por ejemplo, los vehículos que emplean nafta como carburante emiten principalmente monóxido de carbono, óxido de nitrógeno e hidrocarburos, en cambio los vehículos que utilizan motores de ciclo diesel, como lo son camiones y autobuses, emiten además de gases, material particulado como por ejemplo el hollín (Caminos et. al, 2007).

## **2.2.6 EFECTOS SOBRE LA SALUD**

Según Ballester, Tenías y Pérez-Hoyos (1999), los efectos relacionados con la exposición a la contaminación atmosférica son diversos. Los más estudiados son aquellos que se producen a corto plazo, es decir en el periodo de unos pocos días, habitualmente menos de una semana, después de la exposición. Estos efectos mantienen una gradación tanto en la gravedad de sus consecuencias como en la población de riesgo afectada (ver Figura 1).

Según The Committe of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society (1996), los principales efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre los diferentes indicadores de la salud son los siguientes:

- Aumento de la mortalidad total por causas específicas.
- Incremento de la utilización de los servicios sanitarios.
- Ingresos hospitalarios.
- Visitas a hospitales con carácter de urgencia.
- Consultas médicas.
- Alteraciones de diferentes índices funcionales pulmonares.
- Incremento de los síntomas de enfermedades.
- Uso de fármacos.



**Figura 1: Representación de los diferentes efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud**

FUENTE: Ballester, Tenías y Pérez-Hoyos (1999).

Los grupos más susceptibles a los efectos de la contaminación del aire son los niños, los ancianos y aquellos con enfermedades cardíacas o respiratorias (Muñoz et. al, 2006).

Los efectos dependen del tipo de contaminante al que se está expuesto como veremos a continuación:

**a) Efectos por exposición a partículas en suspensión**

Los efectos del material particulado sobre la salud se producen a los niveles de exposición a los que está sometida actualmente la mayoría de la población urbana y rural de los países desarrollados y en desarrollo. La exposición crónica a las partículas aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como de cáncer de pulmón (OMS, 2013).

**b) Efectos por exposición al ozono**

El exceso de ozono en el aire puede producir efectos adversos de consideración en la salud humana. Puede causar problemas respiratorios, provocar asma y reducir las funciones pulmonares. Actualmente se trata de uno de los contaminantes atmosféricos más preocupantes en Europa (OMS, 2011).

**c) Efectos por exposición al óxido de nitrógeno**

Los niveles considerables de óxidos de nitrógeno en el aire pueden irritar los ojos, la nariz, la garganta, los pulmones y posiblemente causar tos y una sensación de falta de aliento, cansancio y náuseas. Respirar altos niveles de este contaminante puede ocasionar quemaduras, espasmos y dilatación de los tejidos en la garganta y en las vías respiratorias superiores, reduciendo así la oxigenación de los tejidos del cuerpo (Grazuleviciene, Moroziene, Dulskiene, 2004).

**d) Efectos por exposición al óxido de azufre**

Al penetrar en las vías respiratorias, los óxidos de azufre destruyen los cilios del epitelio del sistema pulmonar, que tienen la función de evacuar partículas de polvo y aerosol de los bronquios. Este efecto se ve principalmente en los niños y se manifiesta por una tos seca y fiebre, y en casos extremos, puede producir la muerte por asfixia (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

El dióxido de azufre afecta los ojos y la piel, las personas afectadas con mayor frecuencia son los trabajadores de las plantas en donde el dióxido de azufre se produce como derivado. Este contaminante se biotransforma en el cuerpo en un producto de descomposición que se mide en sangre y orina. Cuando alcanza las 20 ppm produce una fuerte irritación en

ojos, nariz y garganta, incrementa la crisis asmática y empeora las alergias respiratorias (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

**e) Efectos por exposición al monóxido de carbono**

El monóxido de carbono causa daño al reaccionar con la hemoglobina de la sangre, formando carboxihemoglobina (COHb). El CO se une a la hemoglobina aproximadamente 220 veces con mayor intensidad que el oxígeno de modo que pequeñas cantidades de este gas en el aire que se respira puede hacer que cantidades significativas de la hemoglobina forme COHb. La hemoglobina así combinada no puede desempeñar su función principal que es la de transportar oxígeno en la sangre y por ende, se produce un déficit de oxigenación en todos los tejidos del cuerpo (Muñoz et. al, 2006).

Por otro lado, a la hora de hablar de los efectos de la contaminación sobre la salud es conveniente diferenciar entre la contaminación más típica en invierno y la que es característica del verano (Ballester et. al, 1999):

- En invierno los episodios de contaminación pueden ocurrir debido al estancamiento del aire ya que los contaminantes procedentes de la combustión se acumulan en la atmósfera. Los principales contaminantes en esta época del año son el SO<sub>2</sub> y las partículas en suspensión.
- En verano los episodios de contaminación pueden ocurrir en los días calurosos y soleados, en los que las reacciones fotoquímicas de los NO<sub>x</sub> y los HC llevan a la formación de ozono.

## **2.2.7 EFECTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE**

Según de la Garza (1997), la contaminación del aire tiene efectos perjudiciales sobre casi todas las fases de nuestra vida. Además de los efectos sobre la salud, existen otros efectos secundarios sobre la vegetación, suelo, agua y materiales hechos por el hombre.

A continuación se presentan algunas consecuencias generadas a raíz de la contaminación atmosférica:

### **a) Visibilidad**

Según Omursall (1997), la contaminación del aire afecta drásticamente la visibilidad ocasionando una serie de problemas como por ejemplo la relacionada con la operación de aviones y la seguridad de estos. Del mismo modo al dañar la visibilidad se ocasiona una destrucción de los paisajes naturales.

### **b) Calentamiento de la atmósfera**

Según de la Garza (1997), la emisión de ciertos gases, provenientes de la quema de combustible fósil están provocando un considerable aumento de la temperatura del planeta. Uno de esos gases emitidos en su mayoría por fábricas, automóviles y centrales termoeléctricas, es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que, al aumentar su concentración en la atmósfera, aumenta también el calor que refleja hacia la superficie. Este calentamiento global traer consecuencias catastróficas a largo plazo como el derretimiento del hielo polar, aumento del nivel de los mares, inundaciones etc.

**c) Lluvia ácida**

La lluvia ácida se refiere a la precipitación en forma de lluvia, nieve o niebla que contiene un exceso de ácidos debido a la contaminación atmosférica. Los óxidos de azufre y de nitrógeno derivados de la quema de combustible fósil se mezcla con el agua en la atmósfera y producen este tipo de lluvia la cual es importante debido a los efectos nocivos que puede tener (de la Garza, 1997).

Los efectos de la lluvia ácida se manifiestan sobre (Mcgraw, 2009):

- Los ecosistemas acuáticos como ríos y lagos, cuyo incremento de acidez provoca una disminución o la desaparición de especies.
- El suelo, provocando un aumento de acidez el cual provoca cambios en su composición, empeorando su calidad y transformándolos en suelos improductivos.
- La vegetación, siendo los bosques los que más sufren sus efectos, con pérdidas de color en hojas, caídas de las mismas, muerte de las copas de los árboles y alteraciones en sus cortezas.
- Los materiales, como por ejemplo el deterioro de pinturas y descomposición de material de construcción, sobre todo en caliza, mármol y arenisca, en los que provoca el denominado mal de piedra.

**d) Agotamiento del ozono en la estratósfera.**

El ozono absorbe los rayos ultravioleta componentes de la radiación solar, haciendo que la intensidad de éstos quede suficientemente débil para no perjudicar a los seres vivos. Este es un papel fundamental en la regulación de la temperatura de nuestro medio ambiente y podría estar en riesgo si la cantidad de ozono en la estratósfera se agota. (Dellsperger, 2003).

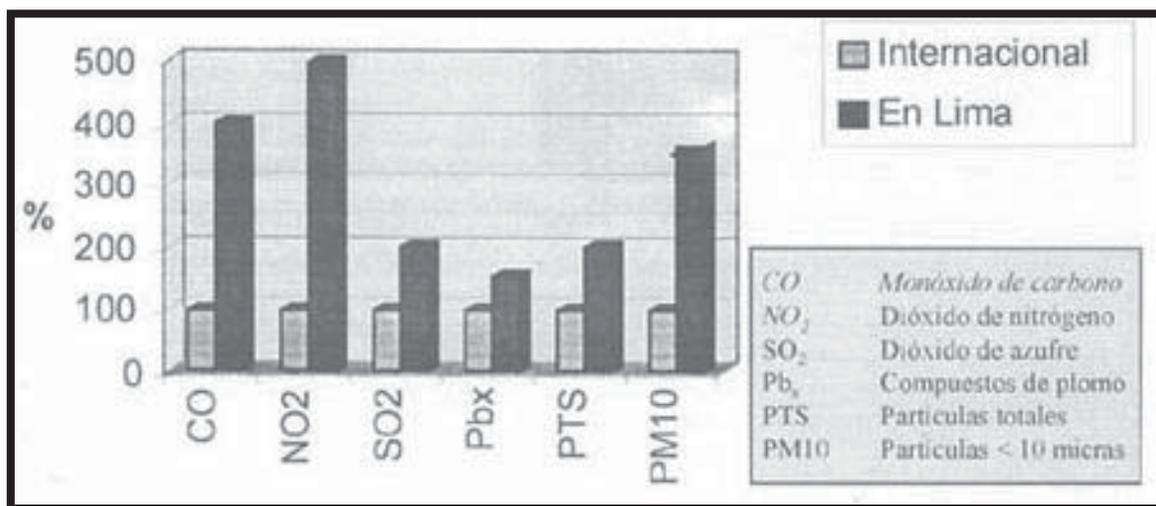
Según Dellsperger (2003), a medida que disminuye el ozono, la capa protectora de la tierra se va alterando y los rayos ultra violetas entran con más facilidad y mayor intensidad en las capas bajas de la atmósfera, lo que podría:

- Iniciar y promover el cáncer a la piel.
- Dañar el sistema inmunológico, exponiendo a la persona a la acción de varias bacterias y virus.
- Provocar daño a los ojos, incluyendo cataratas.
- Hacer más severas las quemaduras del sol y avejentar la piel.

## 2.2.8 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LIMA METROPOLITANA

Lima es una de las cinco ciudades con el aire más contaminado de América Latina, junto con Ciudad de México, Santiago de Chile, Sao Paulo y Rio de Janeiro. Esto se debe principalmente al estado paupérrimo de su parque automotor y al poco entusiasmo que ponen sus autoridades para remediarlo (Asif, 2005).

En la siguiente figura se muestra la comparación de los niveles de concentración máximos en el aire de algunas sustancias tóxicas en Lima con respecto a niveles internacionales.



**Figura 2: Concentración máxima de contaminantes en la atmósfera**

FUENTE: Lira, 1999

Como se puede ver, el panorama que se vivía en Lima hace más de una década con respecto a la contaminación atmosférica era muy preocupante, con porcentaje de concentración de contaminantes que superaban ampliamente a los internacionales sin embargo, según el Ministerio del Ambiente (2012), esto ha mejorado notablemente en los últimos años debido a una serie de medidas tomadas por el estado y por la población como por ejemplo eliminar el plomo de la gasolina, vender gasolina con 50 ppm de azufre (no con 5000 como lo era antes), mayor demanda de vehículos con tecnología a gas, entre otras.

“Pese a que en los últimos años el alto grado de contaminación del aire en Lima ha disminuido, el panorama aún es alarmante. La emisión de gases contaminantes en la capital sigue siendo excesiva” (Diario Perú 21, 2011).

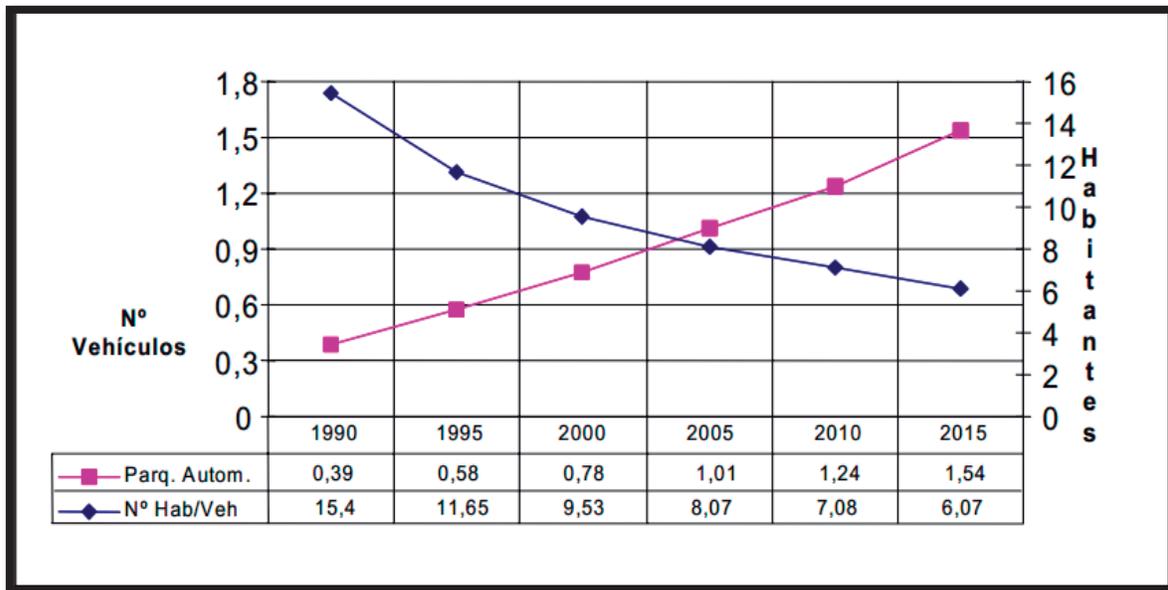
Según el Gerente de Servicios de la Municipalidad de Lima (2011), las zonas con mayor concentración de gases tóxicos en nuestra capital son; el cercado de Lima, Breña, Rímac, San Juan de Lurigancho y Ate. Esto se debe a que en estos distritos existe un mayor flujo vehicular de transporte público.

## **2.3 PARQUE AUTOMOTOR DE LIMA METROPOLITANA**

### **2.3.1 PROYECCIONES VEHICULARES**

Según el MTC (2014), la estimación del parque automotor para el año 2012 fue de 1 328 797 vehículos con una tasa de incremento promedio anual de +3.2 por ciento lo que significaría una cantidad aproximada de 1 415 200 vehículos que circularían en la capital durante el presente año representando más del 65 por ciento del total de vehículos de todo el país.

La Figura 3 grafica la evolución que ha sufrido el parque automotor de Lima desde el año 1990 y su proyección para el año 2015 el cual alcanzaría la cifra de 1 500 000 vehículos aproximadamente. Así mismo, muestra la relación de número de habitantes con respecto a la cantidad de vehículos en circulación en donde se aprecia una disminución significativa desde el año 1990 hasta el 2015 en donde la cifra varía de 15.4 hab/veh hasta 6.07 hab/veh respectivamente.



**Figura 3: Evolución del parque automotor de Lima (millones de vehículos) y la relación Número de Habitantes/Vehículos**

FUENTE: Primer Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima y Callao, 2010

### 2.3.2 TRANSPORTE PÚBLICO

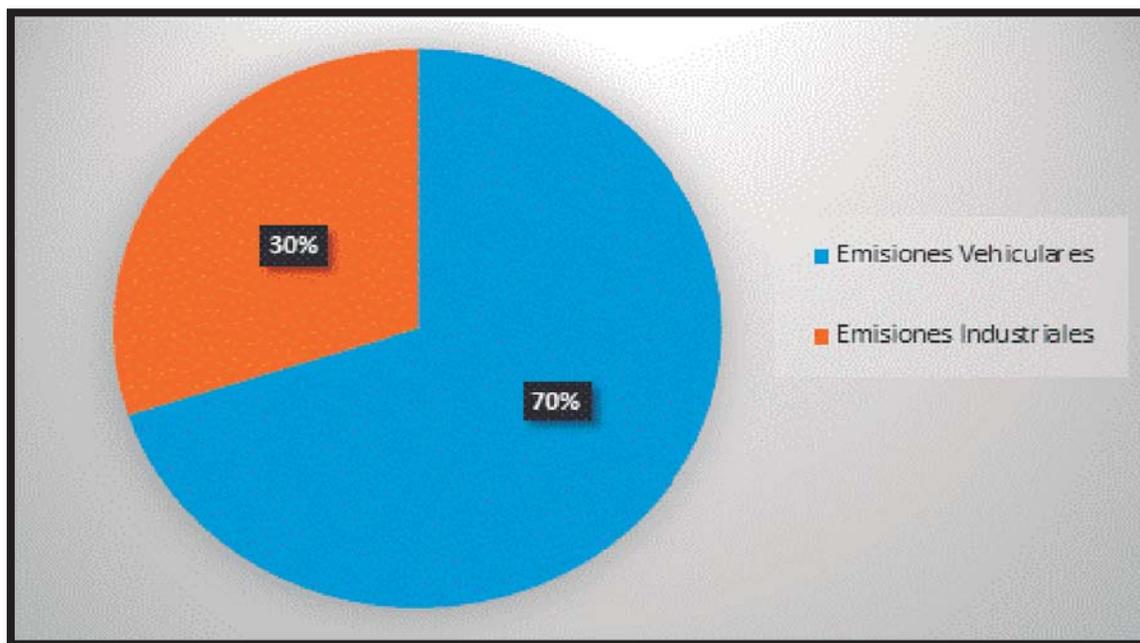
El transporte público de Lima Metropolitana está entre los de menor calidad de América Latina y su ineficiencia afecta en mayor proporción a la población con menos recursos. Las tarifas, que varían de S/0.50 (US\$0.18) a S/2.50 (US\$0.89) son elevadas en comparación con otras ciudades como Santiago de Chile y Buenos Aires, con un mejor nivel de servicio, flotas de 5 años promedio de antigüedad y tarifas medias de US\$0.35 y US\$0.50 (Vicentini et. al, 2003).

Durante el período 1990-2000, la Región Metropolitana de Lima duplicó su parque automotor y disminuyó del 89% al 81% los viajes en transporte público. En el mismo período se produjo un aumento de los vehículos dedicados al servicio público de 10 500 a 47 000 unidades y una expansión del servicio de taxis de 10 000 a aproximadamente 191 000 automóviles, constituyendo en conjunto un sistema caótico de movilidad, con un alto nivel de sobreoferta (Vicentini et. al, 2003).

En la actualidad, gracias a la política de “chatarreo” que viene siendo ejecutado por la Municipalidad de Lima Metropolitana, se ha logrado reducir la cantidad de vehículos de transporte público a 31 500 unidades y se espera que esta cantidad siga disminuyendo sacando así de ruta a ómnibus con más de 30 años de antigüedad (Diario Perú 21, 2013).

### 2.3.3 PARQUE AUTOMOTOR COMO PRINCIPAL FUENTE DE CONTAMINACIÓN

Según la Dirección de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente (2011), los aportes de los sectores transporte e industria poseen una participación del 70 por ciento y 30 por ciento respectivamente en la contaminación del aire. Es decir, el transporte es el sector que domina ampliamente las emisiones atmosféricas en la zona de Lima Metropolitana (ver Figura 4).



**Figura 4: Emisiones Vehiculares v.s Industriales**

FUENTE: Elaboración propia

En los últimos años, algunos niveles de contaminantes en el aire de la ciudad de Lima se han elevado en 472 por ciento, debido principalmente al antiguo parque automotor que posee vehículos de 14 años de antigüedad en promedio y que alberga gran cantidad de camiones y buses que utilizan petróleo como combustible y que contaminan el medio ambiente de forma considerable (Diario Perú 21, 2013).

## **2.4 MARCO LEGAL**

### **2.4.1 EMISIONES VEHICULARES**

Mediante el Decreto Supremo N° 047-2001-MTC modificado por los Decretos Supremos N° 002-2003-MTC, N° 018-2003-MTC, N° 012-2005-PCM, N° 029-2005-MTC y N° 026-2006-MTC, se establecieron los Límites Máximos Permisibles de emisiones de contaminantes para vehículos motorizados que circulen en la red vial, esto a raíz de que en los últimos años el mantenimiento de dichos vehículos ha sido inapropiado por falta de un adecuado sistema de control y debido a un crecimiento abrupto del parque automotor. Esta ley se orienta directamente a la satisfacción de las necesidades de los usuarios y al resguardo de sus condiciones de seguridad y salud; así como a la protección del ambiente y a la comunidad en conjunto (Diario El Peruano, 2001).

### **2.4.2 CONTENIDO DE AZUFRE EN EL DIESEL**

Mediante el Decreto Supremo N° 025-2005-EM se prohibió la comercialización del diesel con un contenido de azufre mayor a 5 000 ppm (Diario El Peruano, 2005).

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), la necesidad de regular el contenido de azufre en el diesel tiene como finalidad redimir la calidad de aire y la salud pública. Sin embargo esta regulación recién entró en vigencia en el año 2010 dado que recién

desde esa fecha quedó prohibida la comercialización de combustible diesel cuyo contenido sea superior a las 50 ppm.

#### **2.4.3 RENOVACIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR PARA FOMENTAR EL CAMBIO DE MATRIZ ENERGÉTICA**

Según el Decreto Supremo N° 213-2007-EF se creó el régimen temporal para la renovación del parque automotor de vehículos diesel con el objetivo de fomentar el cambio de matriz energética a través del chatarreo y de la reducción gradual del consumo de diésel, incrementando así el uso vehículos nuevos que consuman gasolina y/o gas natural vehicular (GNV) (Diario El Peruano, 2008).

#### **2.4.4 RÉGIMEN TEMPORAL DE RENOVACIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR PARA FOMENTAR EL CAMBIO DE MATRIZ ENERGÉTICA**

Según el Decreto Supremo N° 052-2008-EF los vendedores de autos nuevos que puedan ofrecer vehículos de encendido por chispa de hasta 1600 centímetros cúbicos y convertidos para ser usados alternativamente a GNV, manteniendo la garantía del fabricante, deberán inscribirse en el Ministerio de Energía y Minas para que esta entidad supervise dicha conversión (Diario el Peruano, 2008).

#### **2.4.5 REGLAMENTO NACIONAL DE INSPECCIONES TÉCNICAS VEHICULARES**

Según el Decreto Supremo N° 025-2008-MTC se crea el Sistema Nacional de Revisiones Técnicas Vehiculares encargado de certificar el funcionamiento y mantenimiento de los vehículos y el cumplimiento de las condiciones y requisitos técnicos establecidos en la normativa nacional, con el objetivo de garantizar la seguridad del transporte y tránsito terrestre y las condiciones ambientales saludables (Diario el Peruano, 2008).

## **2.5 CONGESTIÓN VEHICULAR**

### **2.5.1 DEFINICIÓN**

La palabra congestión se utiliza frecuentemente en el contexto de tránsito vehicular, tanto por técnicos como por los ciudadanos en general. El diccionario de la Real Academia Español (DRAE) la define como acción y efecto de congestionar o congestionarse, en tanto que congestionar significa obstruir o entorpecer el paso, la circulación o el movimiento de algo, que en nuestro caso son los vehículos.

Hasta un cierto nivel de tránsito, los vehículos pueden circular a una velocidad relativamente libre, determinada por los límites de velocidad, la frecuencia de las intersecciones, los intereses propios, etc. Sin embargo, a volúmenes mayores, cada vehículo adicional estorba el desplazamiento de los demás, es decir, comienza el fenómeno de la congestión. Entonces, una definición más objetiva sería; la congestión es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito, aumenta el tiempo de circulación de los demás (Thomson, 2002).

Por otro lado, la hora pico u hora punta se refiere a la hora del día que tiene el volumen de tránsito vehicular más alto, es decir, a la hora en la cual circulan una mayor cantidad de vehículos y por lo tanto existe una mayor congestión vehicular (Navarro, 2008).

## **2.5.2 CAUSAS DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR**

Según Thomson (2002), las causas de la congestión vehicular son variadas sin embargo, entre las causas que las provocan se encuentran las de corto y largo plazo:

### **a) Causas de corto plazo**

- Rápido incremento poblacional y de trabajo: el rápido crecimiento en el número de hogares y trabajos en un área inevitablemente incrementa el flujo diario de automóviles a través de dicha área.
- Mayor uso de vehículos automotores: la disminución del precio de los automóviles y el fácil acceso a un crédito han hecho más accesible la posesión de autos particulares.
- Deficiente construcción de infraestructura vial: existen casos en los que hay zonas con alta densidad poblacional pero con pocas vías de acceso lo que genera inevitablemente una congestión vehicular.

### **b) Causas de largo plazo**

- Concentración de los viajes de trabajo en el tiempo: la mayoría de organizaciones empiezan y terminan sus trabajos a la misma hora, de modo que los empleados tienen que movilizarse todos al mismo tiempo.
- Deseo de viajar en vehículos privados: la mayoría de los ciudadanos prefiere viajar en vehículos privados usualmente solos porque dicha forma de viaje provee conveniencia, confort, privacidad y muchas veces una velocidad superior a la del transporte público.

### **2.5.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR**

#### **a) Intensidad**

Se denomina intensidad al número de vehículos que atraviesan una determinada sección de la vía en una unidad de tiempo. Para su medición se realizan aforos en determinados puntos de la vía, bien de forma manual o utilizando aparatos contadores (Bañon, 1999).

#### **b) Composición**

Además de conocer la cantidad de vehículos que atraviesan una determinada vía, es de gran ayuda conocer su composición, es decir los tipos y clases de vehículos que circulan por ésta (Bañon, 1999).

#### **c) Velocidad de recorrido**

Se define como el cociente entre la distancia total recorrida en un trayecto determinado y el tiempo transcurrido desde el instante en que el vehículo inicia su partida hasta que llega a su destino, incluyendo posibles detenciones y retrasos debido a la congestión vehicular (Bañon, 1999).

#### **2.5.4 CONGESTIÓN VEHICULAR EN LIMA METROPOLITANA**

La congestión vehicular en Lima se ha incrementado significativamente durante la última década y hoy en día es catalogada por la mayoría de los limeños como caótica, convirtiéndose así en la segunda gran problemática de la capital después de la inseguridad ciudadana. La deficiente infraestructura vial, la poca capacidad de las autoridades y la falta de educación en la población son tal vez las principales razones por las que Lima es considerada como una de las ciudades con peor tráfico en Sudamérica (Diario Perú 21, 2013).

La población limeña genera 11 millones de viajes diarios en vehículos que transitan a una velocidad promedio de 14 km/hora, por avenidas congestionadas la mayor parte del día, elevando el tiempo y los costos del viaje, generando un alto número de accidentes y provocando alarmantes niveles de contaminación tanto atmosférica como sonora (Vicentini, Huici, Nevo, Greenstein, Taddia y Cardona, 2003).

Según el Diario Perú 21 (2013), la congestión vehicular en la capital acarrea una pérdida económica de S/.2 mil 340 millones anuales, esto debido al desperdicio de combustible y a las horas laborales perdidas por los trabajadores.

## **2.6 EMISIONES VEHICULARES**

Según la Guía Metodológica para la estimación de emisiones vehiculares (2007), los vehículos automotores propulsados por motores de combustión interna producen, en general, tres tipos de emisiones de gases contaminantes:

- Emisiones evaporativas (ver Figura 5)
- Emisiones por el tubo de escape (ver Figura 5)
- Emisiones de partículas por el desgaste tanto de los frenos como de llantas

### **2.6.1 EMISIONES EVAPORATIVAS**

Según la Guía Metodológica para la estimación de emisiones vehiculares (2007), las emisiones causadas por la evaporación de combustible pueden ocurrir cuando el vehículo está estacionado o cuando está en circulación. Su magnitud depende de las características del vehículo, de factores geográficos y meteorológicos como la altura y la temperatura ambiental y, principalmente, de la presión de vapor del combustible. La variedad de procesos por los que se presentan emisiones evaporativas en los vehículos incluyen:

- Emisiones diurnas: Son generadas en el sistema de combustible del vehículo debido a los cambios de temperatura a través de las 24 horas del día.
- Emisiones del vehículo recién apagado con el motor caliente: Se presentan una vez que se apaga el motor, debido a la volatilización del combustible por su calor residual.
- Emisiones evaporativas en circulación: Se presentan cuando el motor está en operación normal.

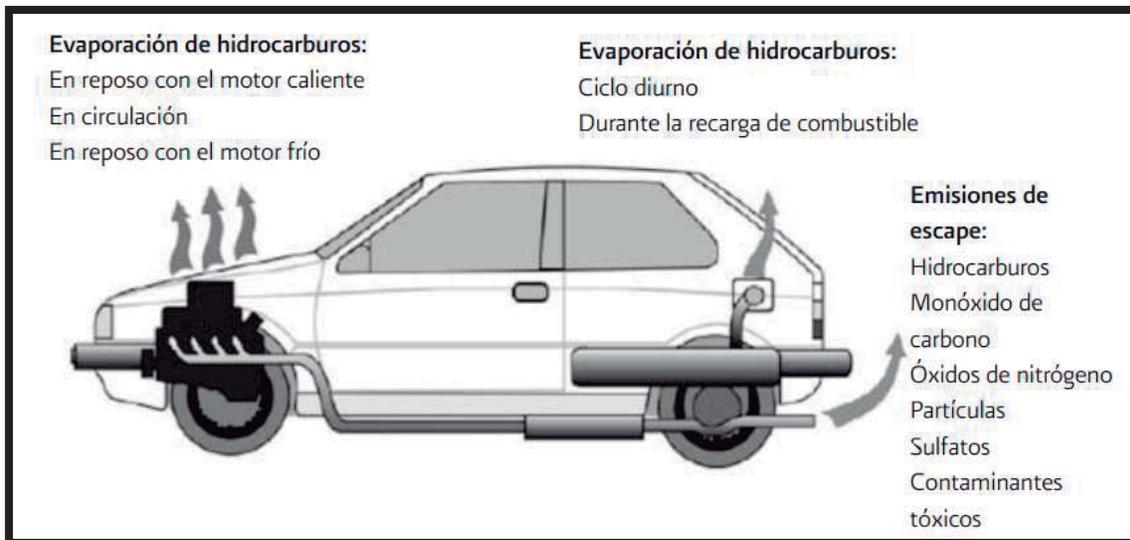
- Emisiones evaporativas del vehículo en reposo con el motor frío: Ocurren principalmente debido a la permeabilidad de los componentes del sistema de combustible.
- Emisiones evaporativas durante el proceso de recarga de combustible: Consisten en fugas de vapores del tanque de combustible durante el proceso de recarga, se presentan mientras el vehículo está en las estaciones de servicio.

### **2.6.2 EMISIONES POR EL TUBO DE ESCAPE**

Las emisiones por el tubo de escape son producto de la quema del combustible y comprenden a una serie de contaminantes tales como; monóxido y dióxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y material particulado, además de ciertos contaminantes presentes en el combustible como el azufre y, hasta hace algunos años, el plomo (Guía Metodológica para la estimación de emisiones vehiculares, 2007).

Estas emisiones se dividen en emisiones en caliente y emisiones en frío (ECE, 1999):

- Emisiones en caliente: ocurre cuando hay estabilidad térmica en la operación del motor (motor caliente).
- Emisiones de partida en frío: ocurre cuando el motor está en proceso de calentamiento, fase durante la cual el motor está alcanzando la temperatura para su funcionamiento óptimo.



**Figura 5: Emisiones Vehiculares (tubo de escape y evaporativas)**

FUENTE: Guía Metodológica para la estimación de emisiones vehiculares, 2007

### 2.6.3 EMISIONES DE FRENOS Y NEUMÁTICOS

Según la metodología norteamericana MOBILE (2010), estas emisiones se asocian al desgaste debido al tiempo de uso de los frenos y los neumáticos. Los contaminantes que se generan son material particulado y están en función de la categoría vehicular y del nivel de actividad que estos tengan. Para el caso específico de las emisiones de los neumáticos, estas están en función del número de llantas que posee el vehículo.

## 2.7 MODELOS DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Un modelo de emisión de contaminantes atmosférico se define como el modelo matemático o el conjunto integrado de modelos matemáticos de diferentes grados de complejidad que sirve para estimar las emisiones hacia la atmósfera de diferentes fuentes ubicadas en una zona geográfica determinada y en un periodo de tiempo establecido (Racero, Canca, Galan y Villa, 2006)

Desde los años setenta diversos modelos matemáticos con distintos tipos de complejidad han sido usados para estimar niveles de contaminación en el aire procedente de fuentes móviles, así como variaciones temporales y espaciales tanto de escenarios reales como de escenarios propuestos. Estos métodos realizan cálculos hipotéticos de emisiones generadas por fuentes móviles considerando un conjunto de vehículos transitando en una zona determinada, a una velocidad promedio. Dichos cálculos podrían ser afinados si se tuviera más información sobre las velocidades y las categorías vehiculares, ya que muchos de ellos producen distintas emisiones bajo diferentes rangos de velocidades y, puesto que eso es posible de hacer, se podría entonces deducir de manera igualmente hipotética las emisiones producidas por cada fuente móvil en un área y un periodo determinado (Lozano, Torres y Antún, 2003).

### **2.7.1 FACTORES DE EMISIÓN**

Según la U.S EPA (1995), un factor de emisión es un valor representativo de la cantidad de sustancia contaminante que se libera hacia la atmósfera con relación a la actividad asociada que la produce.

En muchos países se han realizado múltiples estudios para determinar las tasas de emisión promedio de diferentes fuentes de emisiones móviles y, puesto que el grado de dificultad es muy alto y no es económicamente factible, existen técnicas indirectas de estimación, como lo es el uso de factores de emisión, los cuales no involucran mediciones en cada una de las fuentes, sino que utilizan los resultados de miles de mediciones directas realizadas en otras áreas de estudio y las correlacionan con la flota deseada obteniendo así resultados que se ajustan a la realidad. Dichos factores, orientados a estimar la cantidad de contaminación generada por el parque automotor, pueden ser calculados para cada tipo o categoría vehicular de manera general y poseen variables que se ajustan a las características de la localidad en donde se desea llevar a cabo el estudio (Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Vehiculares, 2007).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Lima, en la sección de la avenida Javier Prado comprendida entre las av. Las Flores y Camino Real, en sentido de oeste a este. La distancia del área de estudio es de 1.41 kilómetros y está conformado por tres carriles de tres metros de ancho cada uno.

Se eligió esta área debido a que la avenida Javier Prado es una de las principales avenidas de Lima no solo porque cruza un gran número de distritos sino porque es uno de los pocos corredores viales que atraviesa la ciudad de oeste a este lo cual la convierte en una avenida muy transitada a cualquier hora del día.



**Figura 6: Área de Estudio**

FUENTE: Google Earth

## **3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo de investigación se dividió en 3 etapas con el fin de llevar un mejor control de los datos y resultados.

### **a) Etapa 1 : Recolección de Información**

En esta etapa se recolectó toda la información necesaria para llevar a cabo el estudio. Esta etapa a su vez, se dividió en 4 sub-etapas:

- Encuestas de congestión vehicular
- Información del parque automotor
- Estimación de velocidad vehicular promedio
- Estimación de emisión de contaminantes

### **b) Etapa 2: Análisis de variables y escenarios generados**

En esta etapa se analizaron las variables relacionadas con el proceso de emisión de contaminantes vehiculares, así como los nuevos escenarios generados a partir de la manipulación de dichas variables.

### **c) Etapa 3: Comparación entre un ambiente con congestión vehicular y otro sin congestión vehicular**

En esta etapa se determinaron las diferencias tanto en la cantidad de vehículos en circulación (intensidad vehicular) así como en las emisiones de contaminantes existentes entre un ambiente con congestión vehicular y otro sin congestión vehicular.

### **3.3 MATERIALES Y EQUIPOS**

A continuación se detallan los materiales y equipos utilizados en la investigación según las etapas descritas anteriormente.

#### **a) Etapa de recolección de información**

- Encuestas de congestión vehicular
  - Cuaderno de notas y lapicero: para anotar la información obtenida de los encuestados con respecto a la hora de mayor congestión vehicular.
  
- Información del parque automotor
  - 2 cámaras filmadoras: para grabar el tránsito vehicular según las categorías vehiculares en el área de estudio.
  - DVD portátil: para la reproducción de las grabaciones y realizar el conteo vehicular respectivo.
  
- Estimación de velocidad vehicular promedia
  - Datos sobre la hora de mayor congestión vehicular obtenida en la sub-etapa anterior: para tener en conocimiento el momento exacto de hacer el monitoreo.
  - Cronómetro: para monitorear los tiempos de recorrido de los vehículos según las categorías vehiculares.
  - Libreta de notas: para llevar un mejor control de los tiempos monitoreados.

- Estimación de emisión de contaminantes
  - Información porcentual del parque automotor de Lima Metropolitana con relación al tipo de combustible y al uso de convertidores catalíticos: para hacer una categorización más detallada (sub-categorías) del parque automotor que transita por el área de estudio.
  - Velocidades vehiculares promedio obtenidas en la sub-etapa previa: para calcular los factores de emisiones.
  - Tabla de factores de emisión: para hacer el cálculo correspondiente sobre las emisiones de contaminantes según cada categoría vehicular.
  - Computadora personal (Laptop): para facilitar el cálculo de las emisiones vehiculares.

**b) Etapa de análisis de variable y escenarios generados**

- Emisiones vehiculares obtenidas en la etapa previa: para manipular las variables y generar nuevos escenarios.
- Computadora personal (Laptop): para facilitar el manejo y análisis de datos.

**c) Etapa de comparación entre un ambiente con congestión vehicular y otro sin congestión vehicular**

- Información sobre las emisiones en un ambiente sin congestión vehicular: para realizar las respectivas comparaciones.
- Computadora personal (Laptop): para facilitar el manejo de datos y el análisis de los diferentes ambientes.

### 3.4 MÉTODOS

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó como base la metodología detallada en el Modelo de Emisiones Vehiculares, MODEM (2010). El Modelo de Emisiones Vehiculares MODEM corresponde a una metodología específica basada en fórmulas matemáticas que permite calcular las emisiones de contaminantes atmosféricos producidas por la actividad vehicular terrestre en zonas urbanas. Esta metodología fue elaborada en Santiago de Chile en el año 2000 por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile e implementada y actualizada en el año 2010 por el Ministerio de Planificación de dicho país obteniendo resultados positivos constituyendo la base para una adecuada definición de políticas y medidas de control para la planificación del transporte local y la reducción de la contaminación atmosférica en dicha capital.

Se eligió este modelo debido a la semejanza del parque automotor que existe entre Perú y Chile en comparación con los otros países que poseen modelos propios de emisiones vehiculares. Así mismo, la similitud de condiciones climáticas y orográficas entre Santiago de Chile y Lima genera un escenario propicio para la ejecución de dicha metodología.

A continuación se detallarán las metodologías utilizadas en la elaboración de la presente investigación de acuerdo a las etapas descritas anteriormente.

### **3.4.1 ETAPA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN - ENCUESTAS DE CONGESTIÓN VEHICULAR**

Se realizaron una serie de encuestas a través de entrevistas a las personas que están en contacto constante con la congestión vehicular en el área de estudio (ver Figura 7). Estos personajes fueron:

- Choferes de transporte público
- Vendedores ambulantes
- Seguridad de edificios
- Peatones

La finalidad de dichas encuestas fue averiguar la hora de mayor congestión vehicular y, para ello, se encuestó a 120 personas a lo largo de toda el área de estudio.



**Figura 7: Encuestas de congestión vehicular**

### 3.4.2 ETAPA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN – INFORMACIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR

Para la obtención de información sobre el parque automotor en el área de interés, se colocaron dos cámaras filmadoras; una al ingreso y otra a la salida del área, con el fin de conocer la composición e intensidad vehicular promedio según las categorías vehiculares establecidas (ver Anexo 1). Estas grabaciones fueron continuas durante todo el periodo de congestión vehicular la cual fue determinada en la etapa previa (ver Figura 8).

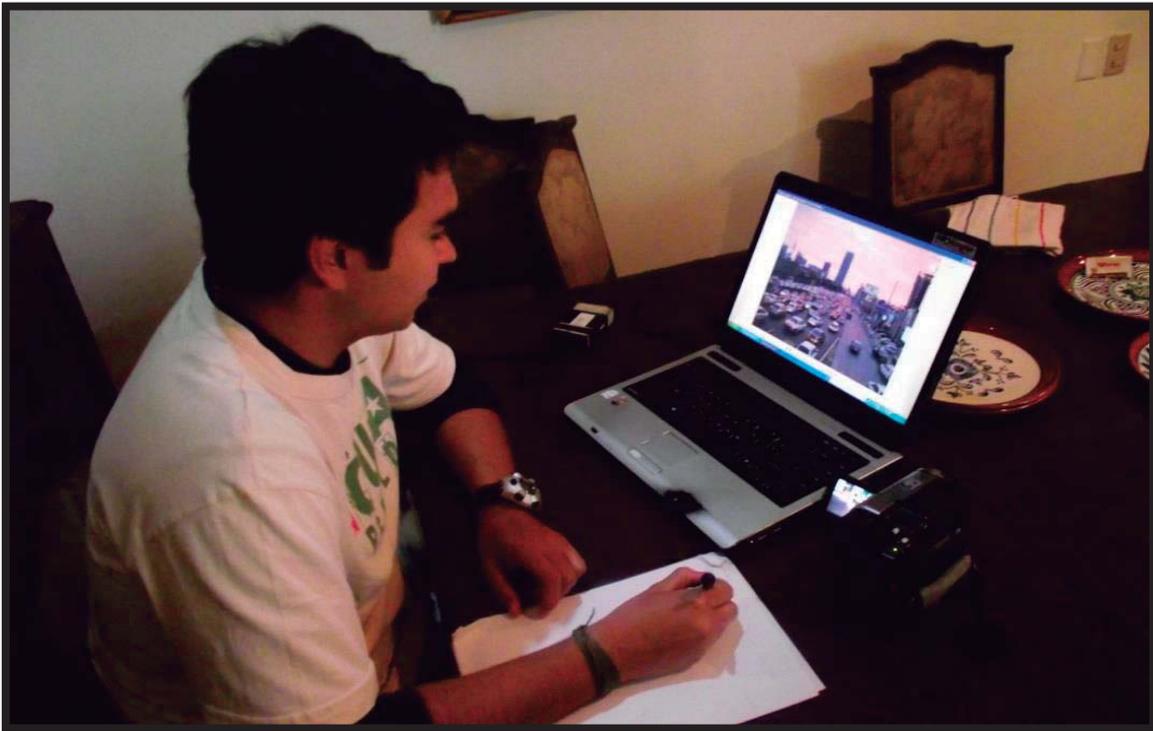


Figura 8: Grabación del flujo vehicular en el área de estudio

Una vez obtenidas las grabaciones, se realizó un conteo vehicular de forma manual tanto a la entrada como a la salida de la zona de estudio (ver Figura 9), posteriormente se promediaron estos resultados obteniendo así una composición vehicular promedio. Este proceso de recolección de información se realizó durante 10 días para obtener datos más exactos.

La fórmula que se utilizó fue la siguiente:

*Composición Vehicular Promedia según cada categoría vehicular = (Composición Vehicular a la entrada del área de estudio según cada categoría vehicular + Composición Vehicular a la salida del área de estudio según cada categoría vehicular)/2*



**Figura 9: Conteo vehicular de forma manual**

Por otro lado, se realizaron consultas de manera personal a las siguientes instituciones con el fin de recaudar información porcentual del parque automotor de Lima Metropolitana y por ende para nuestra área de interés con respecto al tipo de combustible y al uso de convertidores catalíticos:

- Municipalidad Metropolitana de Lima
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones
- Superintendencia Nacional de Registros Públicos

### **3.4.3 ETAPA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN – ESTIMACIÓN DE VELOCIDAD VEHICULAR PROMEDIA**

La estimación de las velocidades vehiculares se realizó mediante la medición de los tiempos de recorrido según cada categoría vehicular. Para ello se monitoreó, con la ayuda de un cronometro, los tiempos que se demoran los vehículos en recorrer toda el área de estudio (ver Figura 10).

Estos monitoreos fueron continuos durante todo el periodo de congestión vehicular en intervalos de 15 minutos. Después de haber obtenido estos valores se calculó la velocidad promedia para cada tipo de vehículo según las categorías determinadas.

La fórmula que se utilizó para transformar el tiempo de recorrido en velocidad de recorrido fue la siguiente:

$$V_r = D_t / T_r$$

En donde:

$V_r$  : Velocidad de recorrido según cada categoría vehicular (km/hora)

$D_t$  : Distancia total de recorrido (km)

$T_r$  : Tiempo de recorrido según cada categoría vehicular (hora)

Así mismo, para la obtención de la velocidad única de recorrido, la cual engloba todas las velocidades independientemente del tipo de vehículo, se utilizó la siguiente fórmula:

$$V_{ur} = \sum(QV_k \cdot V_{rk}) / Q_t$$

En donde:

- $V_{ur}$  : Velocidad única de recorrido en el área de estudio (km/hora)
- $QV_k$  : Cantidad de vehículos de la categoría k que recorren el área de estudio
- $V_{rk}$  : Velocidad de recorrido de la categoría k (km/hora)
- $Q_t$  : Cantidad total de vehículos que recorren el área de estudio



**Figura 10: Estimación de velocidad vehicular**

### 3.4.4 ETAPA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN – ESTIMACIÓN DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES

Los factores de emisión se estimaron teniendo en cuenta las clasificaciones vehiculares y las velocidades promedias (ver Anexo 2).

Los contaminantes cuantificados en el presente trabajo de investigación, basados en la revisión bibliográfica descrita en el punto 3.2.5, fueron los siguientes:

- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de nitrógenos (NO<sub>x</sub>)
- Hidrocarburos no quemados (HC)

La emisión total de contaminantes se estimó usando la siguiente fórmula:

$$E_{total} = E_{caliente} + E_{evaporativa} + E_{desgaste}$$

En donde:

$E_{total}$	: Emisiones totales (kg/año)
$E_{caliente}$	: Emisiones en caliente, fase estabilizada del motor (tubo de escape) (kg/año)
$E_{evaporativas}$	: Emisiones evaporativas en circulación (kg/año)
$E_{desgaste}$	: Emisiones por desgaste de frenos y neumáticos (kg/año)

No se tomaron en cuenta las emisiones de partida en frío (tubo de escape) pues se asume que en un ambiente de congestión, los vehículos permanecen en funcionamiento un periodo prolongado de tiempo.

**a) Emisiones en caliente (tubo de escape)**

La fórmula que se utilizó para la estimación de las emisiones en caliente, fue la siguiente:

$$E_p = TPD \cdot L \cdot FE_p$$

En donde:

- $E_p$  : Emisiones del contaminante p (kg/día)  
 $TPD$  : Tráfico promedio diario (veh/día)  
 $L$  : Longitud de la vía (km)  
 $FE_p$  : Factore de emisión del contaminante p (kg/veh-km)

**b) Emisiones evaporativas en circulación**

La fórmula que se utilizó para la determinación de las emisiones evaporativas fue la siguiente:

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

En donde:

- $E_{evap} RL_{kj}$  : Emisiones evaporativas en circulación de la categoría k por la red vial j (kg/día)  
 $FE_{evap} RL_k$  : Factor de emisión para emisiones evaporativas en circulación debido al recorrido de la categoría k (kg/veh-km)  
 $F_{kj}$  : Flujos de vehículos de la categoría k en la vía j (veh/día)  
 $L_j$  : Longitud de la vía j (km)

Los factores de emisiones evaporativas en circulación ya han sido establecidos por la metodología MODEM (2010), los cuales se presentan a continuación:

**Tabla 4. Factor de emisiones evaporativas en circulación**

Características	Unidad	Factor de Emisión
Emisiones por pérdida durante el recorrido con T° motor <70°C	gr/km	$0.1[0.1 \cdot \exp(-5.967 + 0.04259 \cdot RVP + 0.1773 \cdot t_a)]$
Emisiones por pérdida durante el recorrido con T° motor >70°C	gr/km	$0.1[0.136 \cdot \exp(-5.967 + 0.04259 \cdot RVP + 0.1773 \cdot t_a)]$

FUENTE: MODEM, 2010

En donde:

$t_a$  : Temperatura ambiental en el área de estudio (°C)

RVP : Presión de vapor Reid del combustible (PSI)

**c) Emisiones por desgaste de neumáticos y frenos**

La fórmula que se utilizó para la estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos debido al desgaste de neumáticos y frenos fue la siguiente:

$$E_{i,k} = \sum [k \cdot NA_k \cdot FE_k \cdot f_i \cdot S(V)]$$

En donde:

$E_{i,k}$  : Emisiones de material particulado provenientes del desgaste de neumáticos o frenos para el tamaño de partícula i y la categoría vehicular k (kg/día)

k : Cantidad de vehículos correspondientes a la categoría k (veh)

- $NA_k$  : Nivel de actividad de la categoría vehicular k (km/día)  
 $FE_k$  : Factor de emisión de material particulado para la categoría vehicular k (kg/veh-km)  
 $f_i$  : Fracción de masa del material particulado que puede ser atribuido al tamaño de partícula i.  
 $S(V)$  : Factor de corrección en función a la velocidad de circulación.

La metodología MOBILE citada por MODEM (2010), establece los factores de emisión provenientes del desgaste de neumáticos y frenos:

**Tabla 4. Factor de emisión**

Categoría vehicular	Factor de emisión de neumáticos (g/km)	Factor de emisión de frenos (g/km)
Motocicleta	0.0046	0.0037
Auto liviano	0.0107	0.0075
Camiones liviano	0.0169	0.0117
Camiones pesados y buses	*	*

FUENTE: MODEM, 2010

\* Los factores de emisión destinados a los buses y camiones pesados se estimaron usando la siguiente fórmula:

- Factor de emisión de neumáticos:

$$FE_{cam. pe y bus} = (N^{\circ}_{axle}/2) \cdot FCC \cdot FE_{autos livianos}$$

- Factor de emisión de frenos:

$$FE_{cam. pe y bus} = (3.13). FCC. FE_{autos livianos}$$

En donde:

- $FE_{cam. pe y buses}$  : Factor de emisiones de camiones pesados y buses (kg/día)
- $FE_{autos livianos}$  : Factor de emisión de los autos livianos (kg/día)
- $N^{\circ}axle$  : Número de ejes del vehículo
- $FCC$  : Factor de corrección de la carga

El factor de corrección de la carga se calculó usando la siguiente fórmula:

- Factor de corrección de neumáticos:

$$FCC = 1.41 + (1.38) FC$$

- Factor de corrección de frenos:

$$FCC = 1 + 0.79 FC$$

En donde:

- $FCC$  : Factor de corrección de la carga
- $FC$  : Factor de carga para camiones pesados y buses cuyo rango va desde 0 hasta 1, considerando 0 para un camión o bus vacío y 1 para un camión o bus totalmente cargado y/o lleno.

El Cuadro 4 muestra la distribución del tamaño de las partículas emitidas por el desgaste de neumáticos o frenos en relación con las partículas totales suspendidas:

**Cuadro 4** Distribución de masa de material particulado para el desgaste de neumáticos y frenos

Tamaño de partícula (i)	Distribución de la masa de material particulado total (ii) del desgaste de neumáticos	Distribución de la masa de material particulado total (ii) del desgaste de frenos
PTS	1.000	1.000
PM <sub>10</sub>	0.600	0.980
PM <sub>2.5</sub>	0.420	0.390
PM <sub>1</sub>	0.060	0.100
PM <sub>0.1</sub>	0.048	0.080

FUENTE: MODEM, 2010

El Cuadro 5 presenta las expresiones asociadas a los factores de corrección según intervalos de velocidad. Estas expresiones se utilizaron para todas las categorías vehiculares:

**Cuadro 5** Factores de corrección para el desgaste de neumáticos y frenos

Intervalo de velocidad vehicular	Factor de corrección (iii) para el desgaste de neumáticos	Factor de corrección (iii) para el desgaste de frenos
V < 40 km/hora	1.39	1.67
40 km/hora ≤ V ≤ 90 km/hora	-0.00974V + 1.78	-0.0270V + 2.75
V > 90 km/hora	0.902	0.185

FUENTE: MODEM, 2010

En donde:

V : Velocidad vehicular promedio (km/hora)

□□□□E□□□□□E□□□□□□□□E□□□□□□E□□E□□E□□□□□□E□E□□□□□□

En esta etapa se generaron y analizaron nuevos escenarios de emisión de contaminantes mediante la modificación de las variables involucradas.

Los escenarios generados y las variables que se modificaron fueron las siguientes:

**a) Escenario □□□□ elociciación vehicular**

Una vez estimadas las emisiones totales a velocidad real (escenario real), se generaron nuevos escenarios aumentando las velocidades vehiculares (disminución de la congestión vehicular) paulatinamente a razón de 5 km/hora obteniendo así una curva de resultados significativos en donde las emisiones generadas por los vehículos también se vieron afectadas.

**b) Escenario □□□□ tipo de combustible**

Una vez obtenida las emisiones totales vehiculares en el escenario real, se generaron nuevos escenarios de emisión de contaminantes modificando la cantidad de vehículos que utilizan nuevas tecnologías y tipos de combustibles.

Las nuevas tecnologías y combustibles que se utilizaron fueron:

- Vehículos Híbridos

Un vehículo híbrido es un vehículo de propulsión alterna que combina un motor de energía eléctrica y un motor de combustión interna. Una de las grandes ventajas de estos vehículos es que permiten aprovechar un 30 por ciento de la energía que generan, mientras que un vehículo convencional de gasolina tan sólo aprovecha un

19%. Según Osses, Montero y Kuhn (2010), la reducción de emisiones de estos vehículos, comparados con los convencionales es de 90 y 30 por ciento para el NOx y CO respectivamente.

Para la generación de éste escenario, se manipularon las cantidades de vehículos con motor a gasolina, siendo sustituidos paulatinamente a razón de 5 por ciento por vehículos híbridos alterando así las emisiones totales generadas.

Para la estimación de emisión de contaminantes de vehículos híbridos se utilizaron los factores de emisiones establecidos por el departamento de Ingeniería Mecánica de la escuela de Ingeniería de la Universidad de Aristóteles de Grecia (ver Cuadro 6).

**Cuadro 6: Factor de emisión de vehículos híbridos**

<b>Contaminantes</b>	<b>Factor de Emisión (gr/km)</b>
CO	0.1106
HC	0.0069
NOX	0.0113

FUENTE: Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport, 1998

- Vehículos livianos y buses a Gas Natural

El Gas Natural Vehicular (GNV) es un combustible automotor sustituto de la gasolina en motores de combustión interna de encendido por chispa y en forma parcial del diesel en aquellos motores de encendido por compresión. Según la Fundación Gas Natural de España (2006), las emisiones generadas por estos tipos de vehículos tienen una reducción notable en los gases contaminantes de la atmósfera entre los que destacan el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NOx) e hidrocarburos (HC).

Para la generación de este escenario se manipularon los vehículos que utilizan gasolina sustituyéndolos por vehículos a GNV. Esto se realizó paulatinamente en cantidades progresivas de 5 por ciento comenzando desde 0 por ciento (escenario real) hasta llegar a un +100 por ciento en donde todos los vehículos a gasolina fueron convertidos a GNV y -100 por ciento en donde todos los vehículos existentes a GNV fueron sustituidos por vehículos a gasolina. Se realizó la misma operación con los buses que utilizan diésel para obtener un escenario único.

A continuación se muestran los factores de emisión para vehículos livianos a GNV los cuales fueron usados en la presente investigación:

**Cuadro 1: Factores de Emisión  
de Vehículos Livianos a Gas Natural**

<b>Contaminantes</b>	<b>Factor de emisión (gr/km)</b>
CO	0.6
HC	0.03
NO <sub>x</sub>	0.12

FUENTE: Grupo Gas Natural, 2007

Del mismo modo se presentan los factores de emisión para los buses a GNV:

**Cuadro 2: Factor de Emisión  
de Buses a Gas Natural**

<b>Contaminantes</b>	<b>Factor de emisión (gr/km)</b>
CO	1.00
HC	1.00
NO <sub>x</sub>	0.52

FUENTE: EMEP/EEA, 2010 y Dirección General de Calidad Ambiental-España, 2010

**c) Escenario 3: Uso de Convertidores Catalíticos**

El convertidor catalítico es una parte del motor que sirve para el control y reducción de los gases nocivos expulsado por los vehículos. Se utiliza tanto en motores a gasolina como en diésel.

Para la generación del escenario N°3, se manipularon positiva y negativamente los vehículos que utilizan convertidores catalíticos en forma paulatina a razón de 5 por ciento partiendo del 0 por ciento (escenario real) hasta llegar a un +100 por ciento, escenario en el cual todos los vehículos usan convertidores catalíticos, y a -100 por ciento escenario en el cual ningún vehículo usa convertidor catalítico. Esta manipulación de variable se realizó únicamente para los vehículos que usan gasolina y para los ómnibus que utilicen diesel.

El estudio se realizó en un ambiente libre de congestión vehicular. Una vez obtenido los resultados, se realizaron las comparaciones entre ambos ambientes.

Se desarrolló la misma metodología utilizada en los puntos 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3 y 3.4.4 pero esta vez para un ambiente libre de congestión vehicular. Una vez obtenido los resultados, se realizaron las comparaciones entre ambos ambientes.

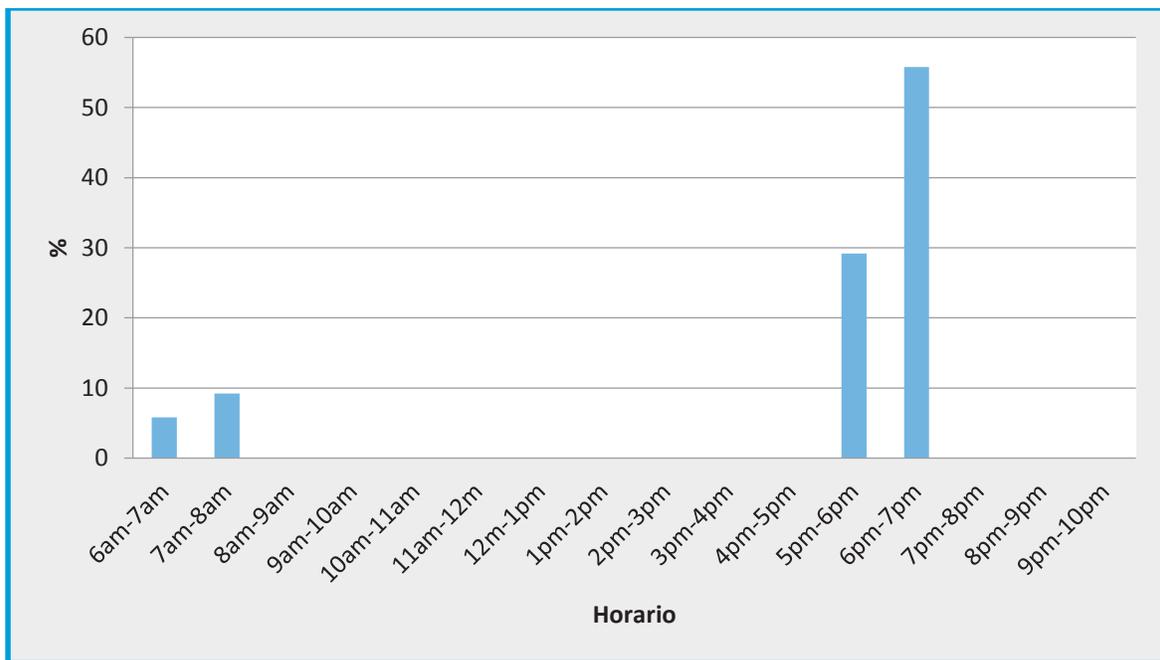
Las características que se compararon fueron:

- Flujo y composición vehicular
- Velocidad de vehículos
- Emisiones vehiculares estimadas

A continuación se presentan los resultados obtenidos según las etapas descritas en el punto 3.2

ENCUESTA DE CONGESTIÓN VEHICULAR

**a) Encuestas de congestión vehicular**



**Figura 1: Hora de mayor congestión vehicular en el área de estudio**

Luego de encuestar a 120 personas relacionadas con el área de estudio, se obtuvo que el 55.8 por ciento asegura que la hora de mayor congestión vehicular ocurre entre las 6:00 pm y las 7:00 pm, un 29.2 por ciento cree que entre las 5:00 pm y 6:00 pm y el 15 por ciento restante asegura que es en las mañanas, entre las 6:00 am y 8:00 am, en donde ocurre la mayor congestión de vehículos. Del mismo el 100 por ciento de los encuestados aseguró que esto se da únicamente los días laborables de la semana, es decir de Lunes a Viernes.

Por ende, gracias a los resultados obtenidos y a la corroboración mediante varias inspecciones personales, se determinó que la hora de mayor congestión vehicular en el área de estudio ocurre entre las 5:30 pm y 7:00 pm de Lunes a Viernes.

Esta determinación guarda relación con las encuestas realizadas por la revista de investigación Industrial Data (2007), en donde menciona que el ambiente de congestión vehicular en la avenida Javier Prado comienza a producirse después de las 4:00 pm y se prolonga hasta las 7:00 pm.

**b) Obtención de información del parque automotor**

Como se puede observar en las Figuras 12 y 13, los vehículos que más circulan por el área de estudio y en el periodo de tiempo determinado son los automóviles con un valor promedio de 836 unidades abarcando el 42 por ciento del total de vehículos, seguido por las camionetas con 385 unidades equivalente a un 19 por ciento, los taxis con 339 unidades y un 17 por ciento y los microbuses con 306 unidades que equivalen al 16 por ciento del total de vehículos en circulación. Con menores cantidades transitan las motocicletas, los camiones pequeños y los ómnibus con 79, 19 y 19 unidades alcanzando un porcentaje de 4, 1 y 1 por ciento respectivamente.

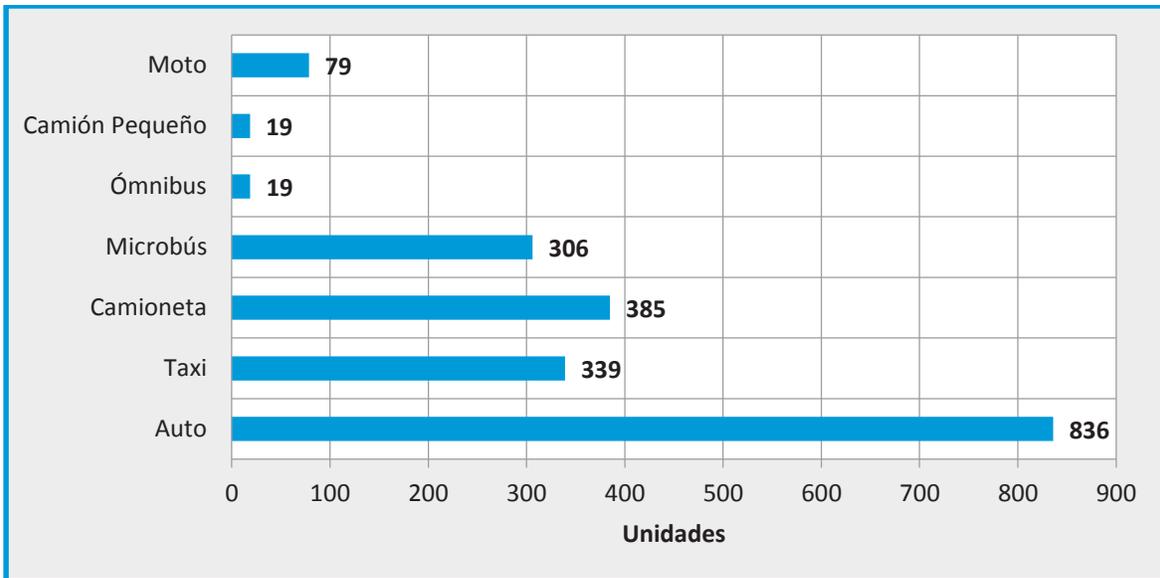


Figura 11: Origen del tránsito vehicular por medio

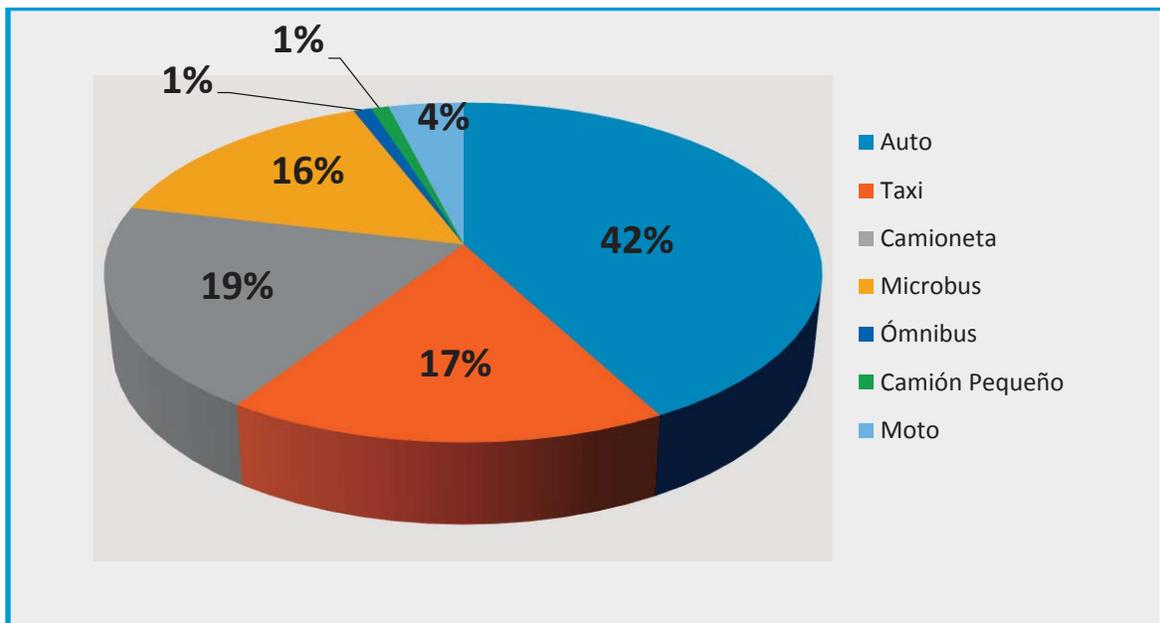
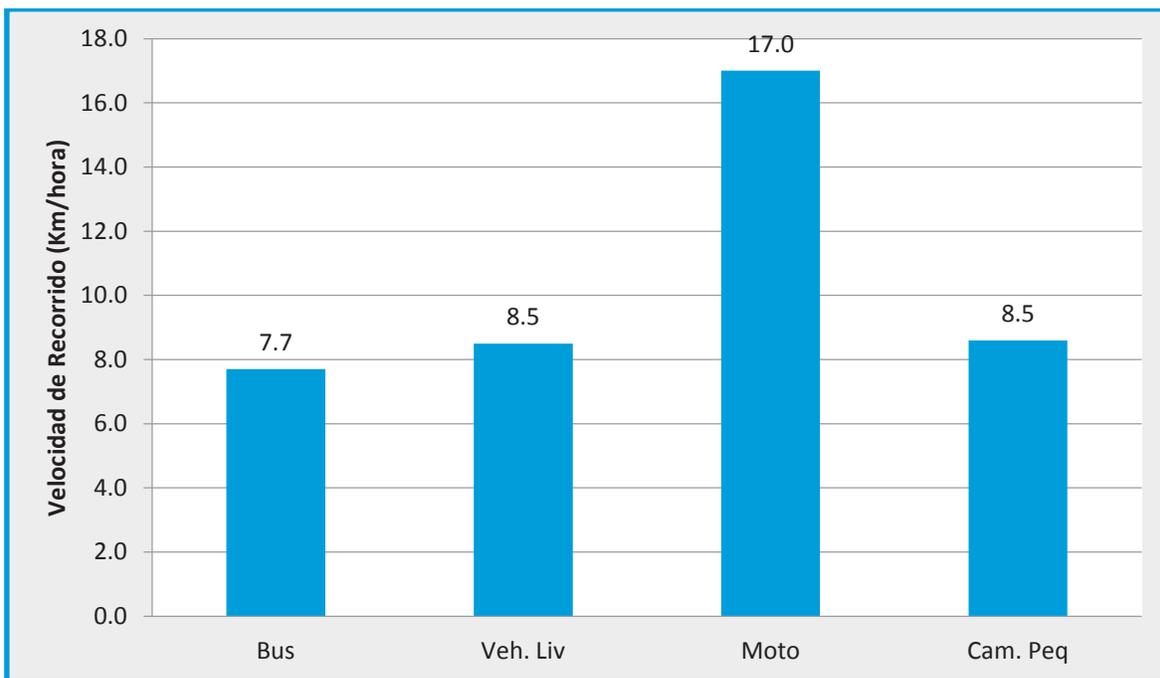


Figura 12: Valor porcentual del tránsito vehicular

La intensidad vehicular es de 1983 vehículos en promedio durante una hora y media (hora que dura la congestión vehicular en la zona de estudio) lo que se traduce como 1322 vehículos/hora.

c) **Estimación de velocidad promedio vehicular**



**Figura 14: Velocidad vehicular promedio**

Como se muestra en la Figura 14, las motocicletas son los vehículos que a mayor velocidad transitan por el área de estudio alcanzando una velocidad promedio de 17.0 km/hora, seguidos por los camiones pequeños y los vehículos livianos quienes lo hacen a 8.5 km/hora y finalmente los buses los cuales transitan a una velocidad de 7.7 km/hora. Cabe resaltar que estas velocidades no son constante a lo largo de los 1.41 km que abarca el área de estudio, gran parte del tiempo los vehículos permanecen detenidos debido a la congestión. En general, la velocidad única vehicular de recorrido ( $V_{ur}$ ) en el área de estudio es de 8.7 km/hora.

Estos resultados obtenidos se confirman con la revisión del Plan de Administración de Tránsito de Lima elaborado por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón citado por el Informe Defensorial N° 137 (2008), donde se indica que existen vías en Lima Metropolitana en donde las velocidades vehiculares llegan a ser menores de 10 km/hora debido al tráfico.

#### **d) Estimación de emisión de contaminantes**

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la estimación de emisiones vehiculares. Cabe mencionar que los resultados se calcularon en kilogramos por año, siendo al año de 261 días ya que esta cantidad de contaminantes se emiten solo en condiciones de congestión vehicular en el área de estudio los cuales tienen lugar los días laborales de la semana (no se incluye sábados ni domingos).

- **Emisiones en caliente**

Como se observa en el Cuadro 9, el automóvil es el vehículo que mayor cantidad de contaminantes emite a la atmósfera alcanzando un valor de 8994.33 kg/año de los cuales más del 80 por ciento corresponde a CO. Esto se debe al gran flujo que tienen estos vehículos en el área de estudio y a la poca intervención de combustibles alternos como lo son el GNV (Gas Natural Vehicular) y el GLP (Gas Licuado de Petróleo), siendo en ambos casos menos del 5 por ciento (ver Anexo 3). Por otro lado los taxis, los cuales casi el 50 por ciento utilizan combustibles alternos, emiten 2278.63 kg/año de contaminantes a la atmósfera. Las camionetas al igual que los microbuses y los ómnibus tienen una participación significativa en la emisión de contaminantes con valores de 4654.01 kg/año, 720.23 kg/año y 354.55 kg/año respectivamente, lo cual está relacionado principalmente al gran consumo de gasolina y diésel que poseen estos tipos de vehículos. Los camiones pequeños emiten menores cantidades de contaminantes debido a su poca participación durante las horas de congestión vehicular con un valor de 136.36 kg/año. Finalmente, las motocicletas emiten 1239.33 kg/año de contaminantes a la atmósfera debido principalmente a la gran cantidad de motocicletas de cuatro tiempos que circulan por el área de estudio las cuales poseen un mayor valor de factor de emisión en comparación con las motocicletas de dos tiempos (ver Anexo 4).

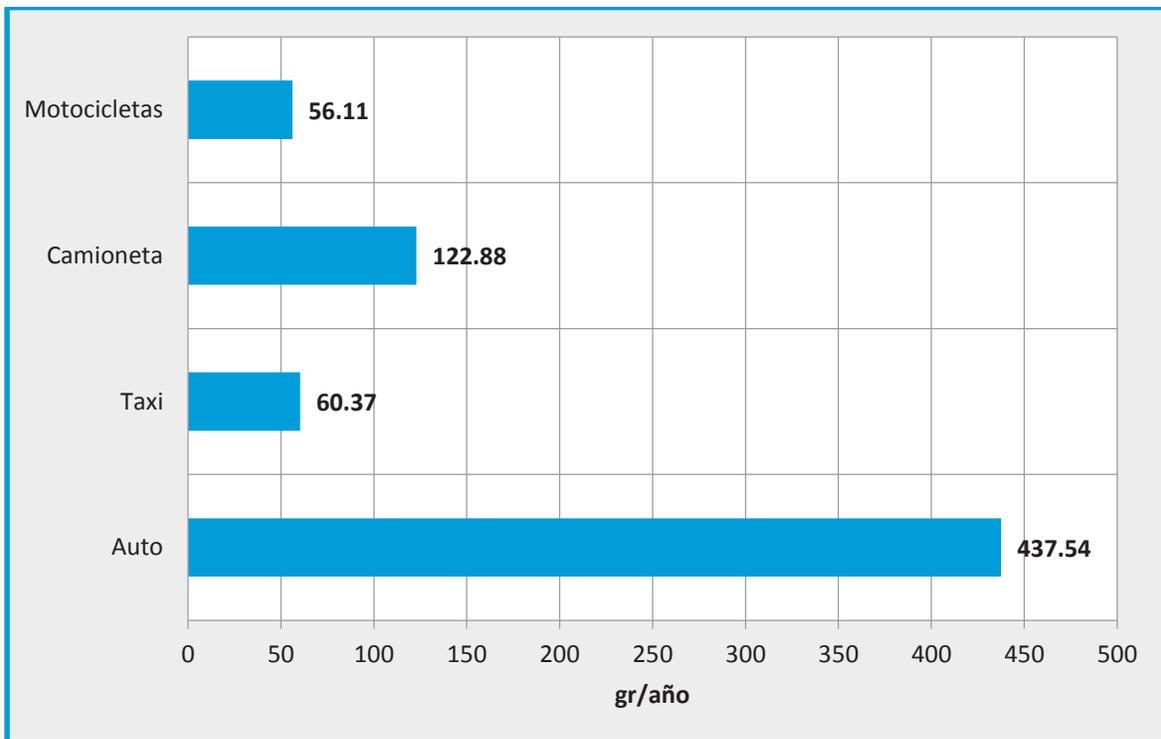


- Emisiones Evaporativas

Las emisiones evaporativas corresponden a los hidrocarburos evaporados de los combustibles y como la gasolina es el único que genera valores significativos en este tipo de emisión, solo se contabilizaron las emisiones generadas por los vehículos gasolineros.

Debido a que los valores son muy bajos comparados con las emisiones en caliente, las emisiones evaporativas se contabilizaron en gramos por año.

Los datos de presión de vapor Reid (PVR) de la gasolina, necesarios para este cálculo, fueron proporcionados por la empresa nacional Petroperú (ver Anexo 5).



Emisiones evaporativas de los vehículos gasolineros – Gasolina

Como se aprecia en la Figura 15, los automóviles son los vehículos que emiten mayor cantidad de hidrocarburos evaporados, con una estimación aproximada de 437.54 gr/año. Esto se debe al gran porcentaje de automóviles que utilizan la gasolina como fuente de energía en vez de combustibles alternos. Posteriormente se encuentran las camionetas, los taxis y al último las motocicletas con valores aproximados de 122.88 gr/año, 60.37 gr/año y 56.11 gr/año respectivamente.

En total se emiten aproximadamente 676.90 gr/año de hidrocarburos evaporados (emisiones evaporativas en circulación) correspondientes a 953 vehículos gasolineros que transitan por el área de estudio en un ambiente de congestión vehicular.

- Emisiones por desgaste de neumáticos

Las emisiones debido al desgaste de neumáticos corresponden a partículas totales suspendidas (PTS) las cuales se dividen en  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_1$  y  $PM_{0.1}$ . Estas emisiones están relacionadas directamente a la cantidad de neumáticos que posee el vehículo, a la cantidad de vehículos que circulan y al recorrido que estos realizan.

Para el caso de los ómnibus, se determinó un factor de carga de 0.5 debido a que, gracias a las inspecciones personales realizadas al área de estudio, estos vehículos transitan parcialmente llenos durante la hora de congestión vehicular.

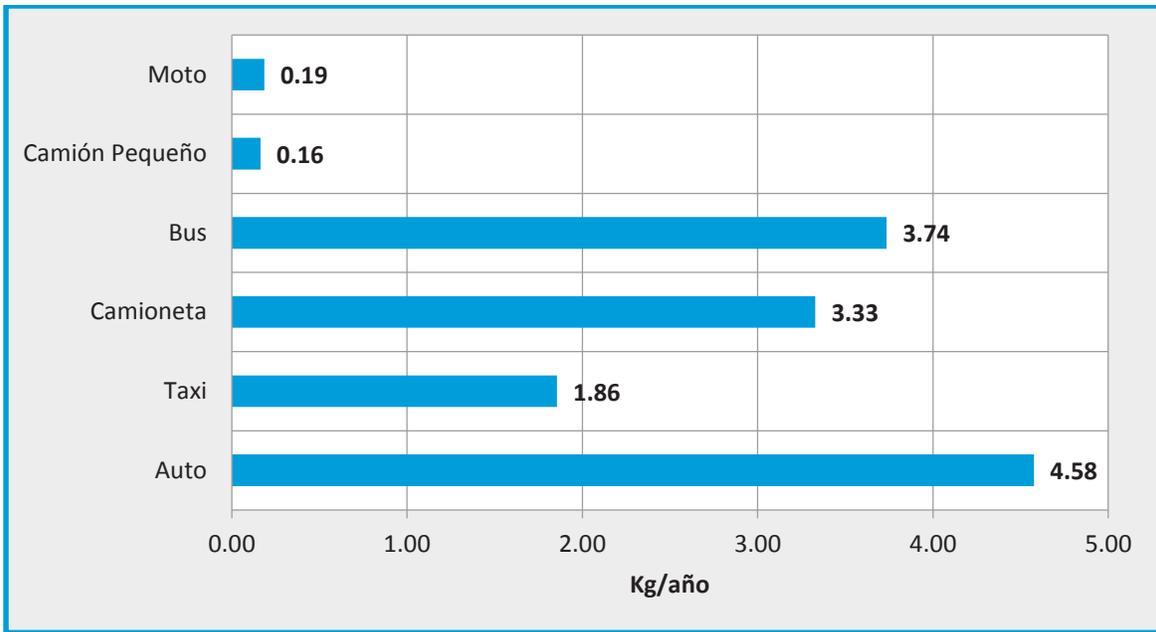
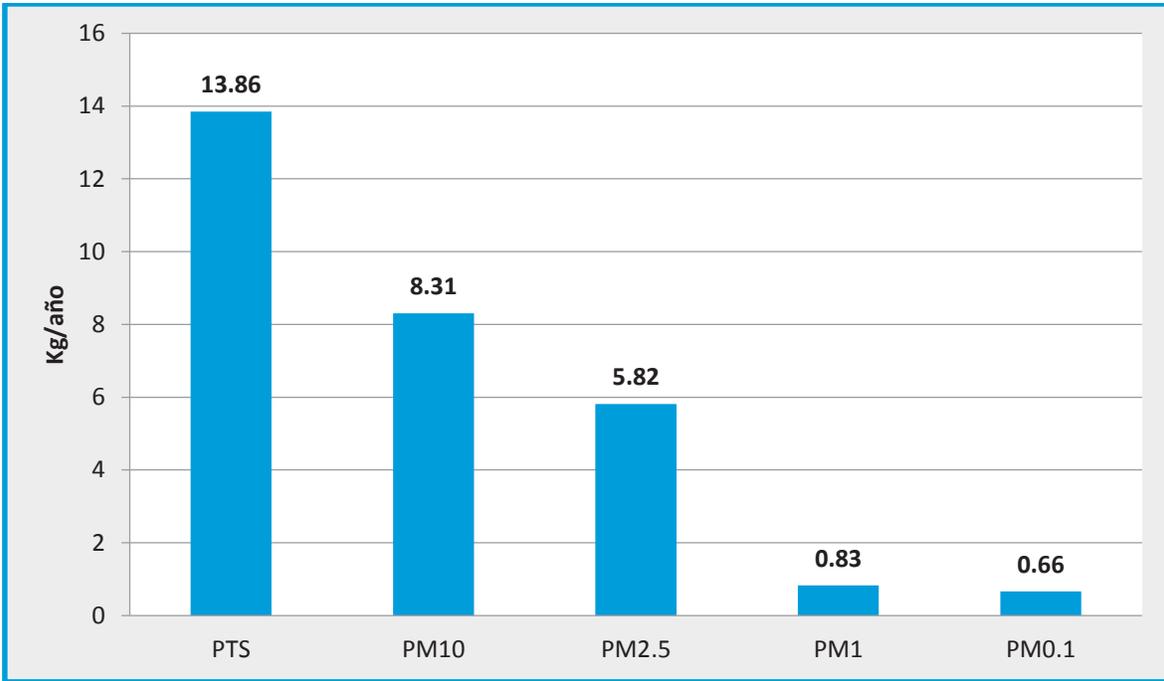


Tabla 1. Emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de diferentes tipos de vehículos

Para el tramo de 1.41 kilómetros de recorrido, son los automóviles los que generan una mayor cantidad de contaminantes, emitiendo a la atmósfera aproximadamente 4.58 kg/año, seguido por los buses (microbús y ómnibus), las camionetas y los taxis los cuales emiten 3.74 kg/año, 3.33 kg/año y 1.86 kg/año respectivamente. Con valores inferiores se encuentran las motocicletas y los camiones pequeños emitiendo cantidades aproximadas de 0.19 y 0.16 kg/año respectivamente.



**Tabla 1. Emissiones totales provenientes del desgaste de neumáticos**

En total se emanan 13.86 kg/año de contaminantes correspondientes a partículas suspendidas provenientes del desgaste de los neumáticos de los vehículos las cuales involucran a partículas menores a 10 micras ( $PM_{10}$ ) con un valore de emisión de 8.31 kg/año, partículas menores a 2.5 micras ( $PM_{2.5}$ ) con aproximadamente 5.82 kg/año de emisión y, con valores inferiores, las partículas menores a 1 y 0.1 micras ( $PM_1$  y  $PM_{0.1}$ ) alcanzando los 0.83kg/año y 0.66 kg/año respectivamente.

- Emisiones por desgaste de frenos

Al igual que las emisiones por desgaste de neumáticos, las emisiones generadas por el desgaste de los frenos se calcula según las partículas totales suspendidas (PTS) generadas, las cuales involucran a las  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_1$  y  $PM_{0.1}$ . Del mismo modo, se utilizó un valor de factor de carga de 0.5.

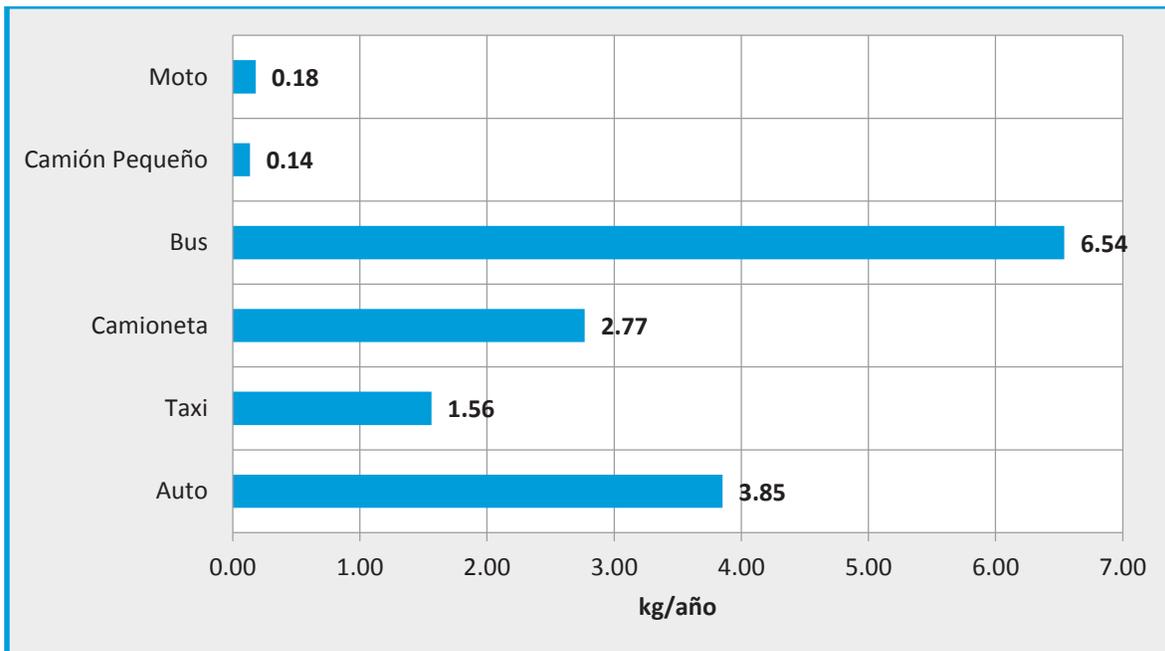


Figura 20. Emisiones provenientes del desgaste de frenos

Según la Figura 20, son los buses (microbús y ómnibus) los principales generadores de PTS alcanzando un valor de 6.54 kg/año aproximadamente seguidos por los automóviles, las camionetas y los taxis con valores de emisiones de 3.85 kg/año, 2.77 kg/año y 1.56 kg/año respectivamente. Las motocicletas y los camiones pequeños son los vehículos que menores emisiones de partículas provenientes de desgaste de frenos generan, con valores aproximados de 0.18 kg/año y 0.14 kg/año respectivamente.

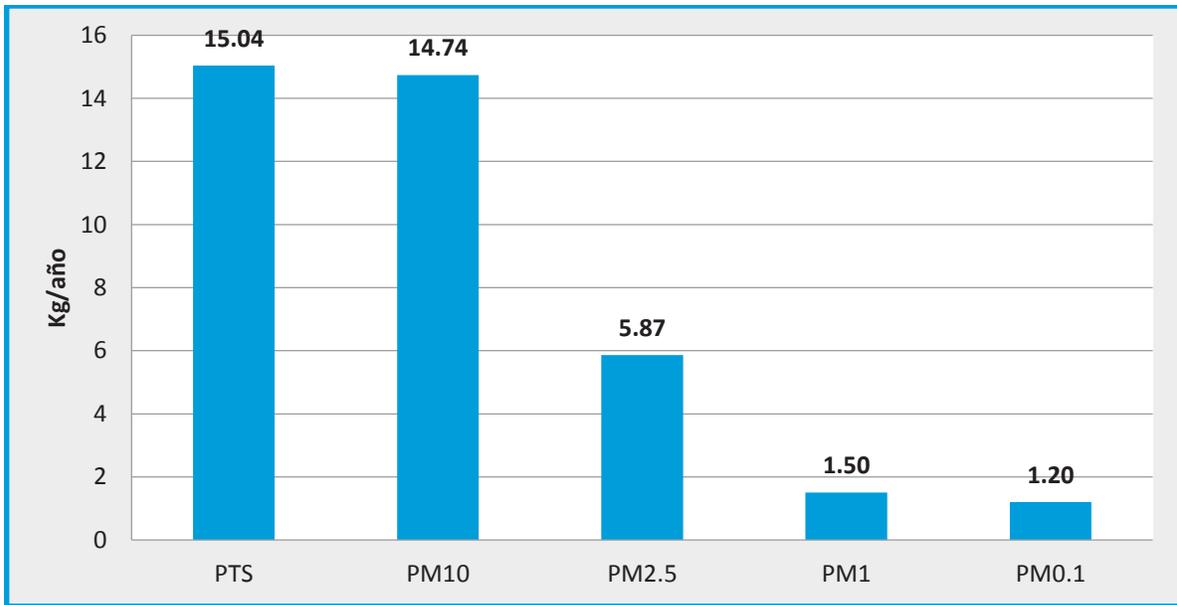


Figura 29. Emisiones totales y componentes de las partículas de los autos

En total, como se aprecia en la Figura 29, se generó un valor de 15.04 kg/año de partículas totales suspendidas dentro de las cuales se encuentran los PM<sub>10</sub> con un valor aproximado de 14.74 kg/año, los PM<sub>2.5</sub> con un valor de 5.87 kg/año y los PM<sub>1</sub> y PM<sub>0.1</sub> con emisiones de 1.50 kg/año y 1.20 kg/año respectivamente.

- Emisiones totales

Las emisiones totales de los vehículos que circulan por el área de estudio durante las 5:30 y 7:00 pm (hora que dura la congestión vehicular) se representa en la Figura 20 y corresponde a la suma de las emisiones descritas y analizadas anteriormente (emisiones en caliente, emisiones evaporativas en circulación y emisiones procedente del desgaste de frenos y neumáticos).

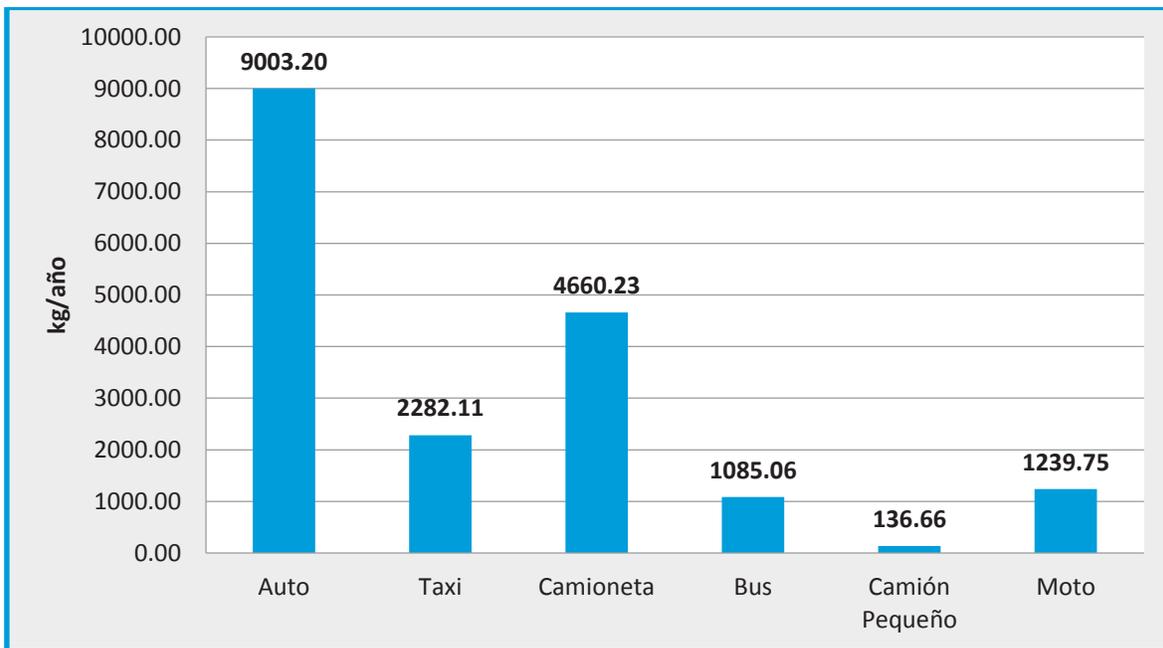


Figura 20. Emisiones totales

Como se puede apreciar, son los automóviles quienes poseen una mayor cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera, alcanzando un valor aproximado de 9003.20 kg/año, seguido por las camionetas y los taxis con valores estimados en 4660.23 kg/año y 2282.11 kg/año respectivamente. Las motocicletas, los buses (microbús y ómnibus) y los camiones pequeños se encuentran al final con valores de 1239.75 kg/año, 1085.06 kg/año y 136.66 kg/año respectivamente. Todos estos valores generan una total de 18407.0 kg/año de gases y material particulado que son emitidos a la atmósfera en el área de estudio a la hora de mayor congestión vehicular.

□□□ □□□□□□□□ □E □□□□□□□□E□ □ E□□E□□□□□□ □E□E□□□□□□

**a) Escenario N° 1**

Variable: Velocidad vehicular

Para la generación del primer escenario, se manipuló la variable velocidad vehicular la cual afecta directamente a los factores de emisión y estos a su vez repercuten en la cantidad de contaminante generado por los vehículos durante su recorrido. Por razones prácticas se representaron emisiones estimadas hasta los 100 km/hora y para esto, se utilizó el dato de velocidad única de recorrido ( $V_{ur}$ ) como punto de partida.

Como se aprecia en la Figura 23, los contaminantes vehiculares emitidos en el área de estudio comienzan a disminuir en forma gradual a razón que la velocidad vehicular aumenta hasta llegar al nivel más bajo de emisión con un valor de 12 689.13 kg/año a la velocidad de 60 km/hora (valor que coincide con el límite de velocidad en el área de estudio), lo que se traduce como una reducción de emisiones del 31 por ciento en comparación con el escenario inicial (escenario real) el cual posee un valor de emisiones totales de 18407.0 kg/año. A partir de este punto, las emisiones comienzan a aumentar gradualmente conforme las velocidades continúan en ascenso hasta llegar a los 100 km/hora en donde las emisiones totales alcanzan los 16 734.79 kg/año, lo que significa una reducción del 9 por ciento en comparación del escenario real. Por otro lado, las emisiones totales aumentan en un 8.4 por ciento alcanzando un valor máximo de 19 933.80 kg/año a medida que la congestión vehicular aumenta y las velocidades vehiculares descienden hasta los 5 km/hora.

Esta curva que experimenta las emisiones totales vehiculares en relación al aumento de velocidades se debe principalmente al comportamiento del monóxido de carbono ya que es el gas que se emite en mayor cantidad. Es así que, según el Estudio sobre la Gestión Variable de la Velocidad en las Vías de Acceso a las Áreas Urbanas (2009), el CO presenta niveles más bajo de emisión cuando las velocidades vehiculares son medias y tiende a aumentar a medidas que las velocidades van alcanzando su máximo nivel (ver Anexo 6).

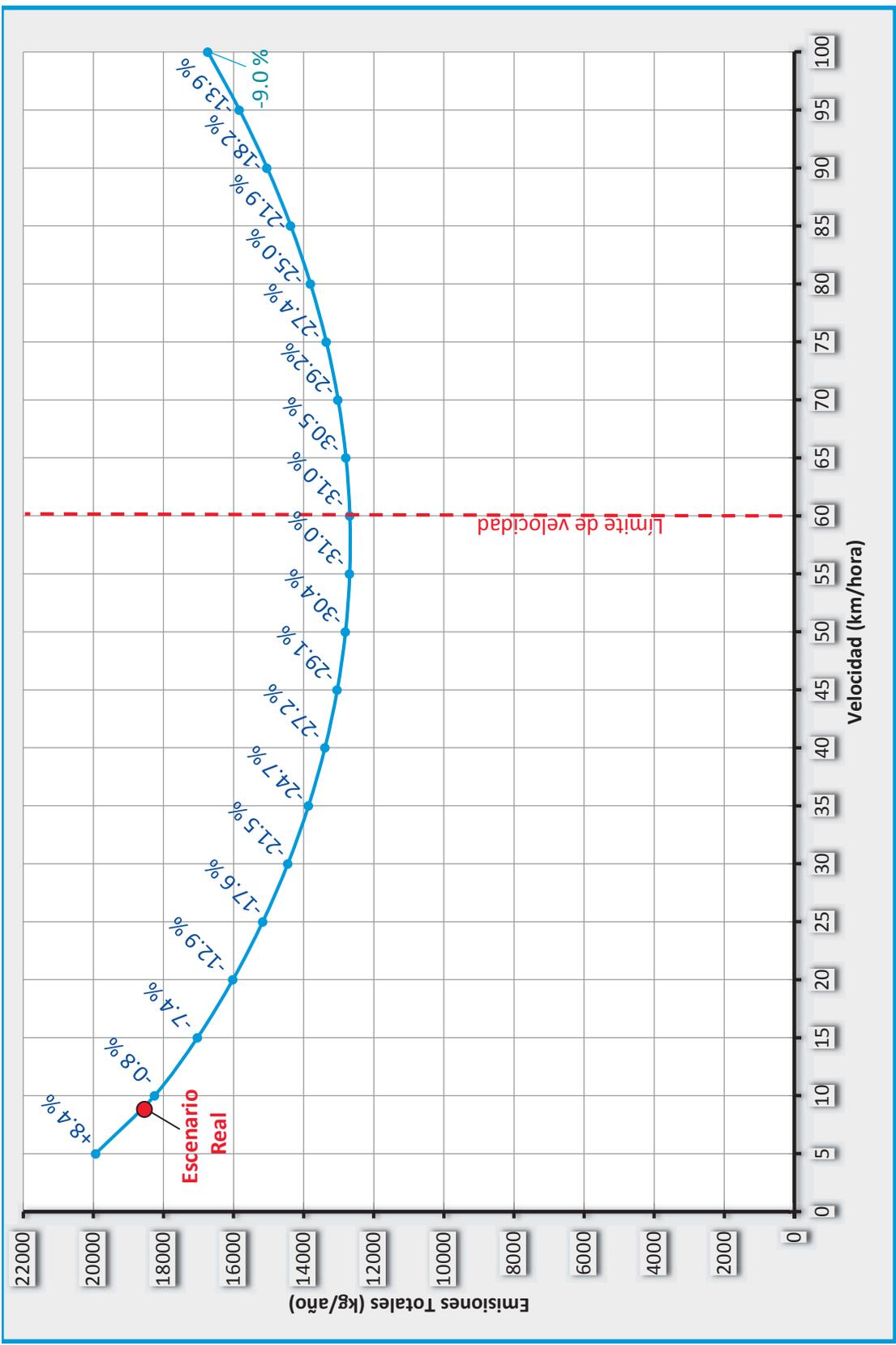


Gráfico de Variación de las Emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo de la Velocidad

## □□ **Escenario N°□**

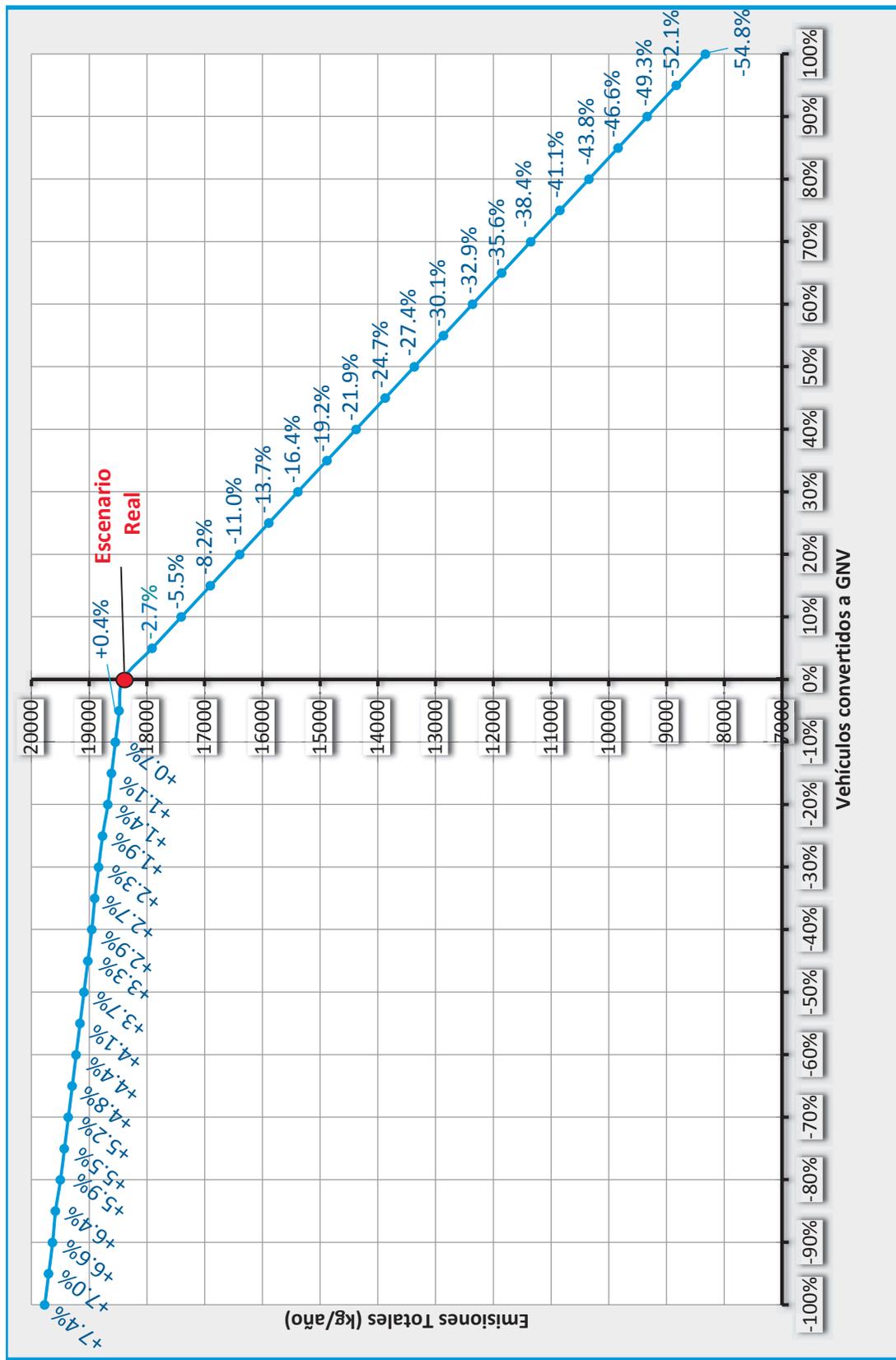
Variable: Tipo de combustible

- Vehículos convertidos a Gas Natural Vehicular (GNV)

Para la generación de este escenario, se manipuló las cifras de automóviles y taxis que utilizan gasolina como combustible al igual que los microbuses que utilizan diesel y fueron sustituidos a razón de 5 por ciento por vehículos que utilicen GNV, los cuales poseen menor valor de factor de emisión y por ende menor valor de emisión de contaminantes. Del mismo modo se modificaron los automóviles y taxis ya existentes que utilizan GNV (ver Anexo 3) y se reemplazaron por vehículo a gasolina para obtener un escenario opuesto.

Como se ve en la Figura 24, las emisiones vehiculares totales en el área de estudio se reducen de manera considerable a razón de 2.7 por ciento por cada 5 por ciento de vehículos sustituidos, es así que llega hasta un valor de 8 323.17 kg/año de contaminantes emitidos a la atmósfera al ser reemplazados el 100 por ciento de los automóviles gasolineros y microbuses a diesel por vehículos que utilizan gas natural vehicular, lo que significa una reducción del 54.8 por ciento del escenario real (18407.0 kg/año). Esto guarda relación con los estudios realizados por Belmont, Barrera y Saldivar (2004), quienes aseguran que las emisiones provenientes de los vehículos a gas natural pueden disminuir hasta en un 90 por ciento para el caso de HC y CO, y en un 40 por ciento para el NO<sub>x</sub> en comparación con los vehículos a gasolina.

Lo contrario ocurre cuando los vehículos a gas natural ya existentes que transitan por el área de estudio son sustituidos por vehículos a gasolina, en donde las emisiones de contaminantes se incrementan a razón de 0.4 por ciento aproximadamente por cada 5 por ciento de vehículos convertidos, llegando de esta manera a un valor estimado de 19 769.31 kg/año de contaminantes emitido a la atmósfera al ser reemplazados el 100 por ciento de vehículo, lo que significa un aumento de emisión del 7.4 por ciento en comparación con el escenario real.



El presente informe de Emissiones de CO<sub>2</sub> equiv. de los vehículos convertidos a GNV, se basa en los datos de Na...

- Vehículos con tecnología híbrida

Un vehículo con tecnología híbrida es aquel que combina un motor de combustión interna con uno de energía eléctrica. Este último es de especial utilidad en el proceso de salida y aceleración del vehículo ya que requiere una mayor cantidad de combustible. Los vehículos con esta tecnología maximizan las fuentes de energía, lo que se traduce en un ahorro de combustible y en algunos casos en la recuperación de la energía del frenado. Esta energía alimenta una reserva de baterías, con las que el auto puede desplazarse sin problemas disminuyendo así las emisiones de contaminantes a la atmósfera (Cahuasquí, 2013).

Para la generación de este escenario, se sustituyó gradualmente a razón de 5 por ciento los automóviles y las camionetas ya existentes que utilizan gasolina como combustible, por vehículos con tecnología híbrida los cuales poseen un menor valor de factor de emisión y por ende una menor emisión de contaminantes.

Según la Figura 25, las emisiones vehiculares totales generadas en el área de estudio se reducen a razón de 3.4 por ciento por cada 5 por ciento de vehículos sustituidos con la tecnología híbrida. Esta reducción es constante hasta llegar al 100 por ciento de vehículos sustituidos alcanzando una emisión total de 5 786.57 kg/año de contaminantes lo que significa una reducción de 68.6 por ciento con respecto al escenario real (18407.0 kg/año).

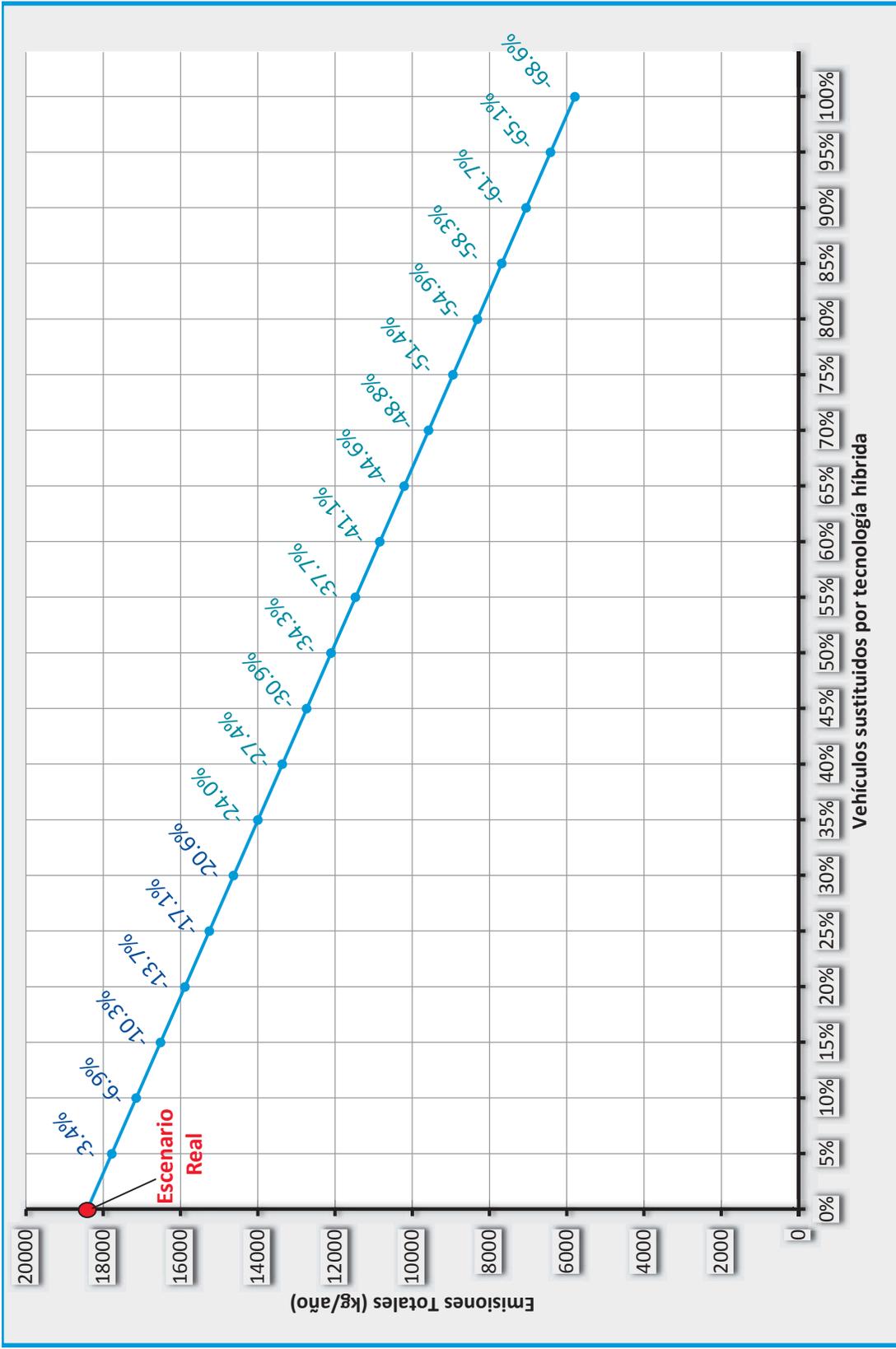


Diagrama de variación de Emissiones de CO<sub>2</sub> a Largo Plazo para diferentes porcentajes de vehículos sustituidos por tecnología híbrida

**c□ Escenario N°□**

Variable: Uso de convertidores catalíticos

Para la generación de este último escenario, se manipuló la cantidad de vehículos que usan convertidores catalíticos (ver Anexo 7) los cuales poseen un menor valor de factor de emisión y por ende emiten menores cantidades de contaminantes durante el recorrido. Es así que se aumentó la cantidad de vehículos que usan este dispositivo a razón de 5 por ciento reemplazando gradualmente a los que no los tienen hasta llegar a un 100 por ciento (escenario en donde todos los vehículos que transitan por el área de estudio poseen convertidores catalíticos). Del mismo modo, se generó un escenario inverso al sustituir los vehículos que usan convertidores catalíticos y reemplazarlos por vehículos que no usan este dispositivo generando así un aumento en las emisiones de contaminantes.

Según la Figura 26, las emisiones disminuyen a razón de 2.3 por ciento aproximadamente mientras que los vehículos sustituidos con convertidores catalíticos aumentan constantemente 5 por ciento. De esta manera se llega hasta un escenario en donde el 100 por ciento de los vehículos a gasolina que no utilizaban este dispositivo fueron reemplazados alcanzando a un total de emisiones de 10 189.85 kg/año de contaminantes lo que se traduce en una reducción del 44.6 por ciento con respecto al escenario real (18407.0 kg/año). Caso contrario ocurre con la reducción de vehículos ya existentes que utilizan este dispositivo en donde la cifra de emisión de contaminantes aumenta progresivamente a razón de 0.8 por ciento por cada 5 por ciento de vehículos reemplazados hasta llegar a una emisión máxima de contaminantes de 21 373.58 kg/año al tener el 100 por ciento de vehículos sin convertidores catalíticos, lo que significa un aumento en las emisiones del 16.1 por ciento en comparación con el escenario real.

Es así que, según Korc, Figari, Bravo y Pareja (2000), la implementación de medidas de acción de corto, mediano y largo plazo, como lo es el uso de convertidores catalíticos en los vehículos que circulan por zonas urbanas, podrían llegar a disminuir las emisiones provenientes del parque automotor entre un 30 y 70 por ciento y resulta ser de mucha utilidad para escenario en donde la flota vehicular es elevado.

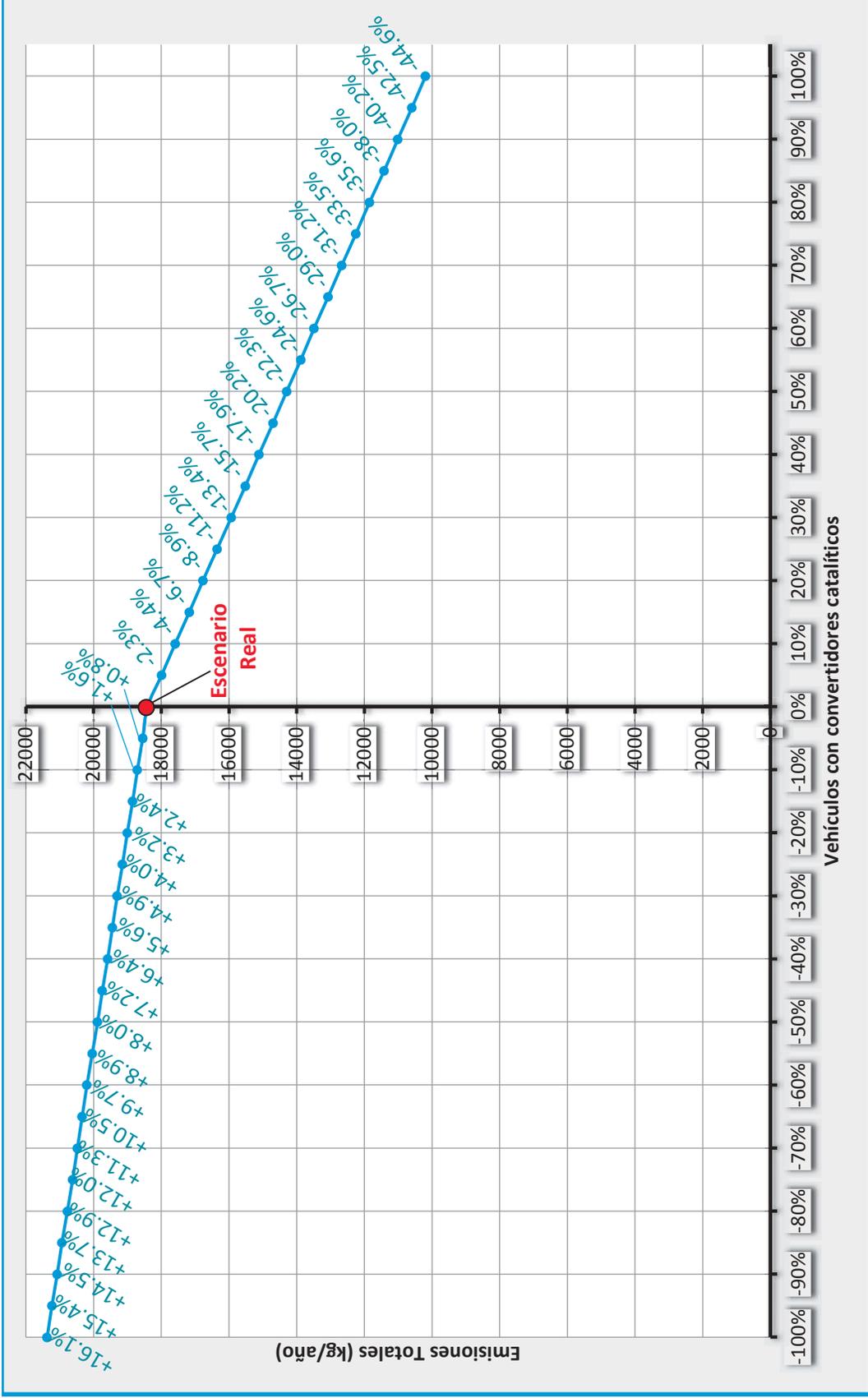
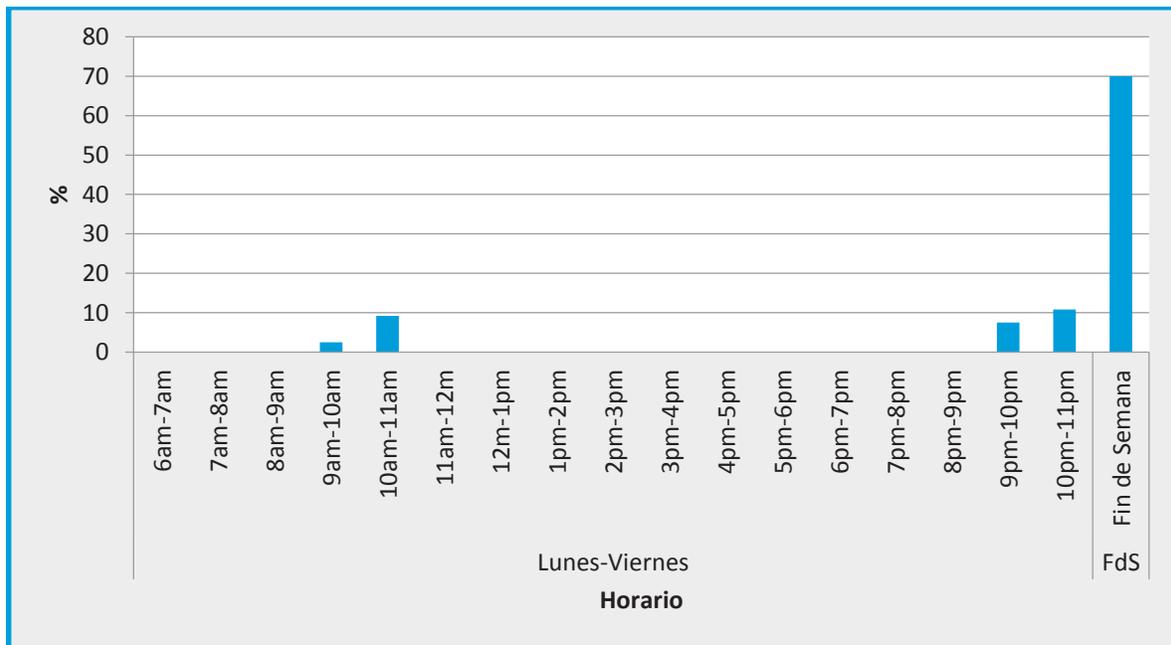


Diagrama de variación de las Emisiones óxidos de nitrógeno en vehículos con convertidores catalíticos

El presente informe muestra los resultados de la encuesta realizada a 120 personas con el fin de conocer la hora de menor congestión vehicular en la ciudad de Bogotá. Los resultados se presentan en el siguiente gráfico de barras.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para un escenario sin congestión vehicular y sus respectivas comparaciones con los resultados obtenidos en el punto 4.1.

**a) Hora de menor congestión vehicular**



**b) Hora de menor congestión vehicular**

Después de encuestar a las mismas 120 personas respecto a la hora de menor congestión vehicular, los resultados obtenidos fueron los siguientes; el 70 por ciento de encuestados aseguró que son los fines de semana, independientemente de la hora, en donde el tránsito vehicular es fluido y libre de congestión. Así mismo, un grupo muy pequeño de encuestados representados por el 10.8, 9.2, 7.5 y 2.5 por ciento creen que la hora de menor congestión vehicular se da en los días laborables (Lunes a Viernes) entre las 10:00-11:00 pm, 10:00-11:00 am, 9:00-10:00 pm y 9:00-10:00 am respectivamente.

Debido a los resultados obtenidos y a varias inspecciones personales al área de estudio, se determinó que es entre las 5:30 pm y 7:00 pm de los fines de semana (sábados y domingos) las horas con menor congestión vehicular. Así mismo, a pesar de que los resultados muestran dos días a la semana libre de congestión, se realizaron los cálculos para un año de 261 días, con el fin de tener escenarios con características similares.

**b) Obtención de información del parque automotor**

Como se aprecia en las Figuras 26 y 27, los automóviles son los vehículos que más circulan en la hora de menor congestión vehicular alcanzando un valor promedio de 1187 unidades durante la hora y media de monitoreo representando 48 por ciento del total de vehículos. Del mismo modo los taxis y las camionetas alcanzan un valor de 528 y 512 unidades con cifras porcentuales del 21.3 y 20.6 por ciento respectivamente. Con un valor inferior se ubican los microbuses con 193 unidades abarcando el 7.8 por ciento del total de vehículos y, finalmente, se encuentran las motocicletas con 33 unidades, los ómnibus con 16 unidades y los camiones pequeños con 10 unidades obteniendo cifras del 1.3, 0.6 y 0.4 por ciento respectivamente.

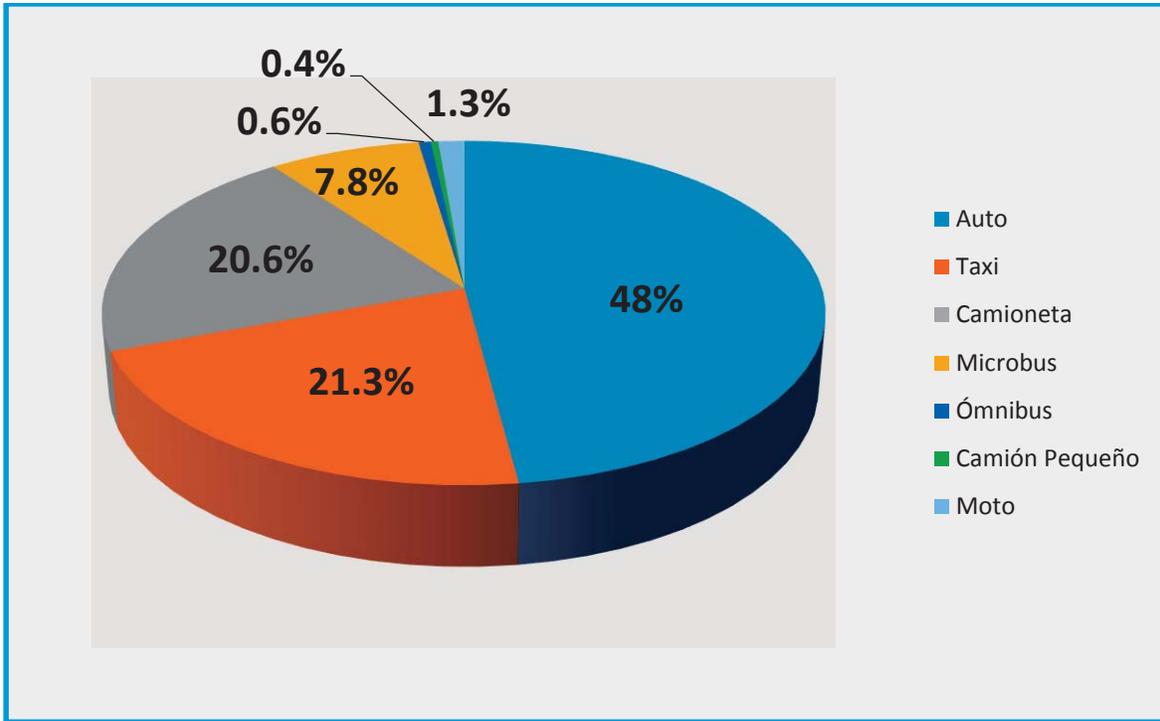


Figura 26: Valor porcentual vehicular – Ambiente sin congestión vehicular

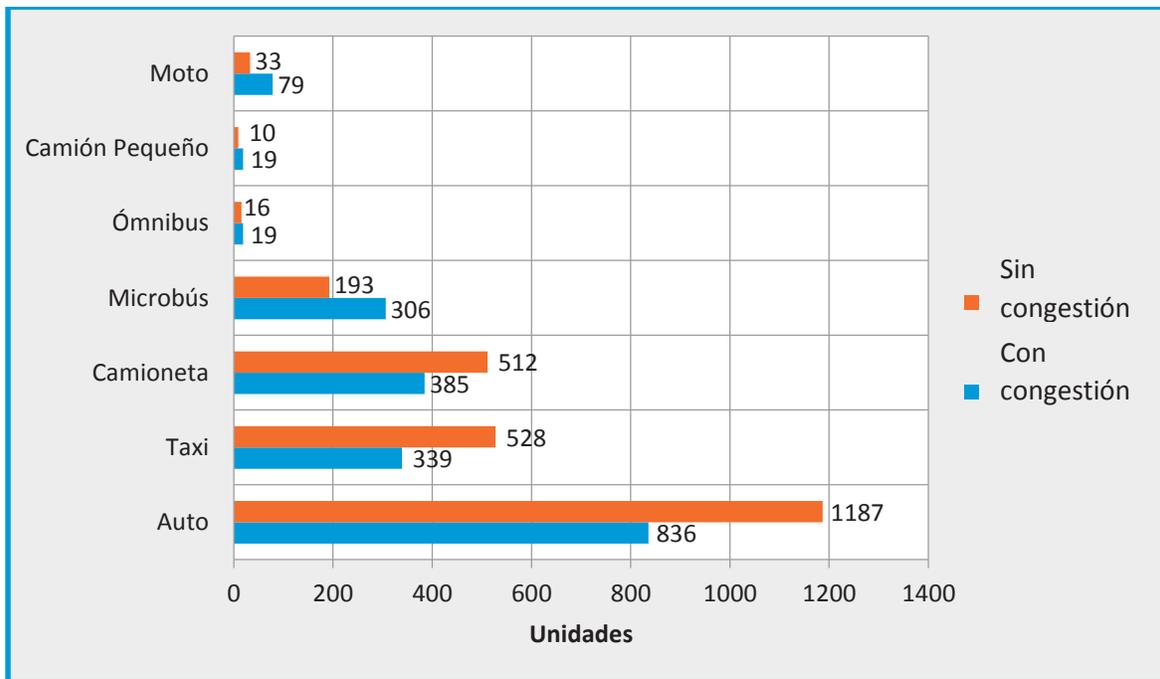
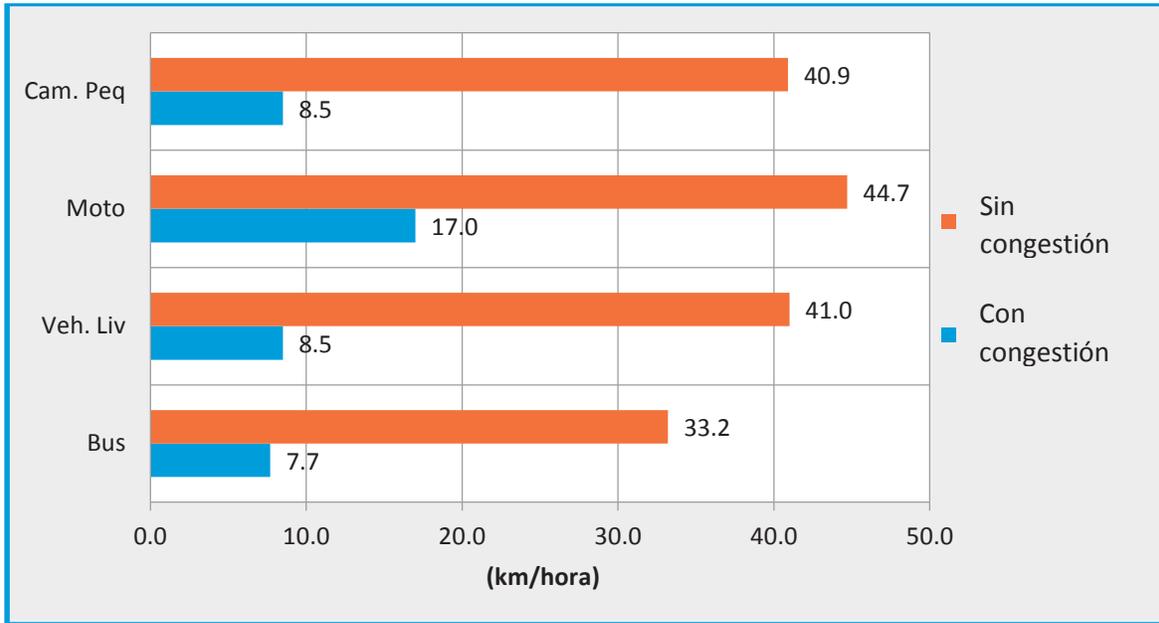


Figura 27: Comparación del tránsito vehicular promedio

Haciendo las comparaciones respectivas, como se ve en la Figura 27, las unidades registradas, para el caso de los automóviles, los taxis y las camionetas, son mayores en el escenario que no posee congestión vehicular superando en 351, 189 y 127 unidades respectivamente. Para las demás categorías vehiculares; microbús, ómnibus, camiones pequeños y motocicletas, las unidades registradas fueron mayores en el escenario que presenta un ambiente de congestión de vehículos.

En total se contabilizaron un promedio de 2477 unidades en el área de estudio en un ambiente libre de congestión vehicular, lo que se traduce como un aumento del 24.9 por ciento con respecto de los 1982 vehículos que circulan los días de la semana cuando existe un ambiente con algo tránsito de vehículos.

c) **Estimación de velocidad vehicular promedio**



**Figura 28: Comparación de velocidades vehiculares promedio**

Como se muestra en la Figura 28, las velocidades vehiculares en un ambiente sin congestión vehicular son ampliamente superiores a las que se experimentan cuando existe congestión. Las motocicletas son los vehículos que transitan con mayor velocidad por el área de estudio alcanzando valores de 44.7 km/hora, superando en 27.7 km/hora a la velocidad establecida por este mismo vehículo en un ambiente de tráfico. Lo mismo ocurre con los vehículos livianos, los camiones pequeños y los buses, quienes alcanzan valores de 41.0 km/hora, 40.9 km/hora y 33.2 km/hora respectivamente superando ampliamente a las velocidades establecidas por estos mismo vehículos en un ambiente de congestión vehicular.

La velocidad única de recorrido para este ambiente de tránsito vehicular fluido es de 40.41 km/hora, el cual es 464 por ciento superior a la velocidad única vehicular de recorrido estimada para un ambiente con congestión vehicular.

d) **Estimación de emisión de contaminantes**

- Emisiones en caliente

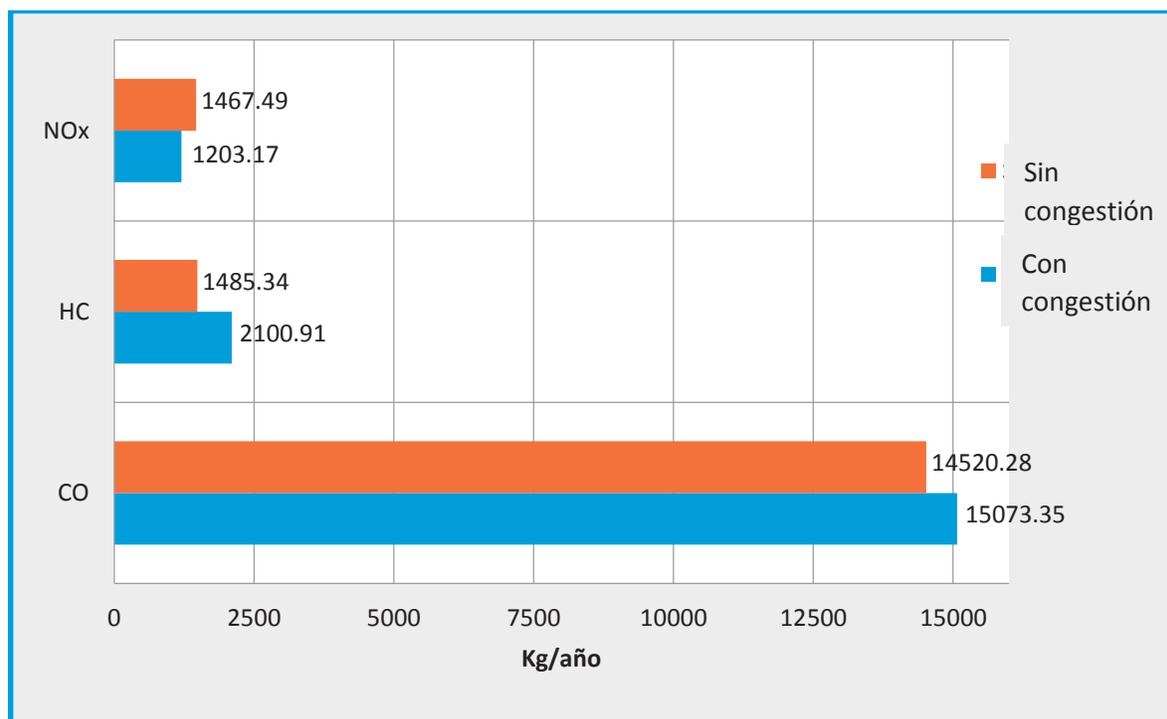
**Cuadro 10: Emisiones en caliente (kg/año) – ambiente sin congestión vehicular**

<b>Vehículos</b>	<b>CO</b>	<b>HC</b>	<b>NOx</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Automóvil</b>	<b>8681.07</b>	<b>703.43</b>	<b>684.03</b>	<b>10068.54</b>
<b>Taxi</b>	<b>2815.48</b>	<b>231.34</b>	<b>261.25</b>	<b>3308.07</b>
<b>Camioneta</b>	<b>2456.59</b>	<b>413.79</b>	<b>286.54</b>	<b>3156.92</b>
<b>Microbús</b>	<b>243.30</b>	<b>83.29</b>	<b>121.79</b>	<b>448.38</b>
<b>Ómnibus</b>	<b>48.19</b>	<b>15.30</b>	<b>100.00</b>	<b>163.50</b>
<b>Camión Pequeño</b>	<b>12.05</b>	<b>0.14</b>	<b>12.44</b>	<b>24.64</b>
<b>Motocicleta</b>	<b>263.61</b>	<b>38.04</b>	<b>1.44</b>	<b>303.08</b>
<b>TOTAL</b>	<b>14520.28</b>	<b>1485.34</b>	<b>1467.49</b>	<b>17473.11</b>
<b>%</b>	<b>83</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>100</b>

Como se puede ver en la Cuadro 10, en un ambiente libre de congestión vehicular, son los automóviles los que mayor cantidad de gases contaminantes emiten a la atmósfera alcanzando un valor aproximado de 10068.54 kg/año y siendo el CO el contaminante que se emite en su mayoría con casi 86 por ciento del total de emisiones. Los taxis, las camionetas y los microbús emiten cantidades de contaminantes iguales a 3308.07 kg/año, 3156.92 kg/año y 448.38 kg/año respectivamente y, al igual que los automóviles, es el monóxido de carbono (CO) el contaminante que en mayor cantidad se emana de los tubos de escape. Por otro lado, en los ómnibus y los camiones pequeños, los cuales generan respectivamente 163.50 kg/año y 24.64 kg/año de contaminante aproximadamente, es el NO<sub>x</sub> el contaminante que se emite en mayor cantidad superando los 50 por ciento en ambos casos sobre el total de contaminantes. Por último se encuentran las motocicletas las cuales depositan un total de 303.08 kg/año de contaminantes a la atmósfera siendo el CO su componente principal.

En total se emite una aproximado de 17 473.11 kg/año de contaminantes en caliente provenientes del tubo de escape en un ambiente libre de congestión vehicular que, comparado con los 18 377.44 kg/año provenientes de un ambiente con congestión, representa una reducción del 4.92 por ciento de emisiones.

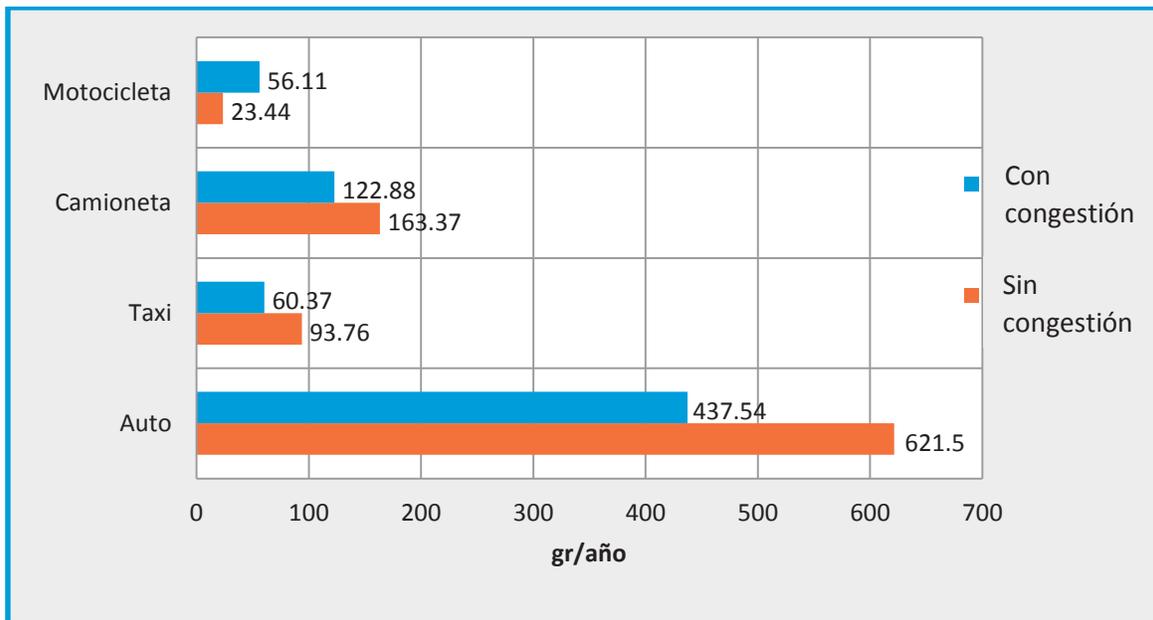
Del total de este resultado, según la Figura 29, el 83 por ciento corresponde a emisiones de CO con un valor de 14 520.28 kg/año, el cual representa una reducción del 3.7 por ciento en comparación con los 15073.35 kg/año que emana a la atmósfera en un ambiente de congestión vehicular. Lo mismo ocurre con el HC, el cual es 29.3 por ciento menor en este ambiente alcanzando un valor de 1485.34 kg/año en comparación con el valor estimado en un ambiente de tráfico. Todo lo contrario ocurre con el NO<sub>x</sub> el cual presenta un valor de emisión mayor cuando se experimenta un ambiente libre de congestión alcanzando un valor estimado de 1467.49 kg/año.



**Figura 29: Comparación de emisiones en caliente según el contaminante**

- Emisiones Evaporativas

Las emisiones evaporativas correspondientes a un escenario fluido y libre de congestión vehicular, corresponden solo a los vehículos que utilizan gasolina como fuente de energía. En este caso, como se puede ver en la Figura 30, los automóviles son los vehículos que más hidrocarburos evaporados depositan a la atmósfera con un valor de 621.5 gr/año seguido por las camionetas y los taxis con cifras que alcanzan los 163.37 gr/año y 93.76 gr/año respectivamente. Por último se encuentran las motocicletas con una cifra casi despreciable de 23.44 gramos de hidrocarburos evaporados emitidos al año.



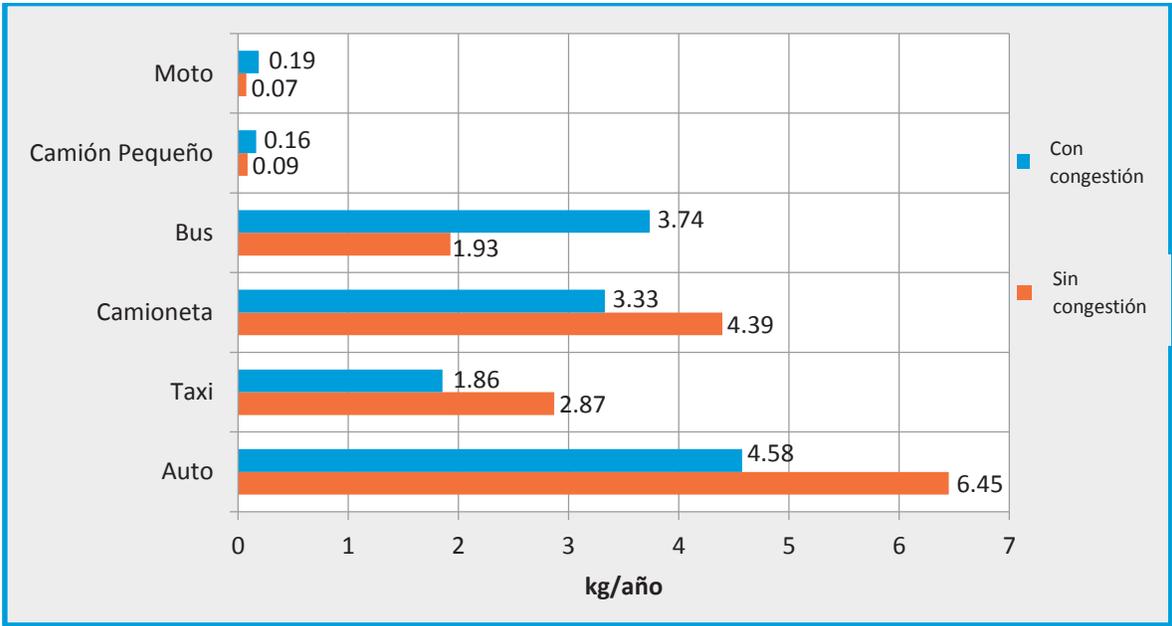
**Figura30: Comparación de emisión de hidrocarburos evaporados (Gasolina)**

Comparando las emisiones evaporativas generadas en un ambiente sin congestión vehicular con las generadas en uno con congestión, se nota claramente que, para el caso de los automóviles, los taxis y las camionetas, los hidrocarburos evaporados que se generan en este ambiente son ampliamente superiores. Caso contrario ocurre con las motocicletas las cuales generan una mayor cantidad de emisiones evaporativas cuando se presenta un

ambiente lleno de tráfico, debido principalmente a la mayor cantidad de este tipo de vehículos que transitan por el área de estudio.

En total se emiten una cantidad de 902.07 gr/año de hidrocarburos evaporados (emisiones evaporativas en circulación) en un ambiente libre de congestión vehicular los cuales comparados con los 676.90 gr/año provenientes de un escenario con congestión, representa un aumento de 33.26 por ciento de emisión. Esto se debe básicamente a la mayor cantidad de vehículos que transitan por la zona de estudio cuando se presenta un ambiente fluido para los vehículos.

- Emisiones por desgaste de neumáticos

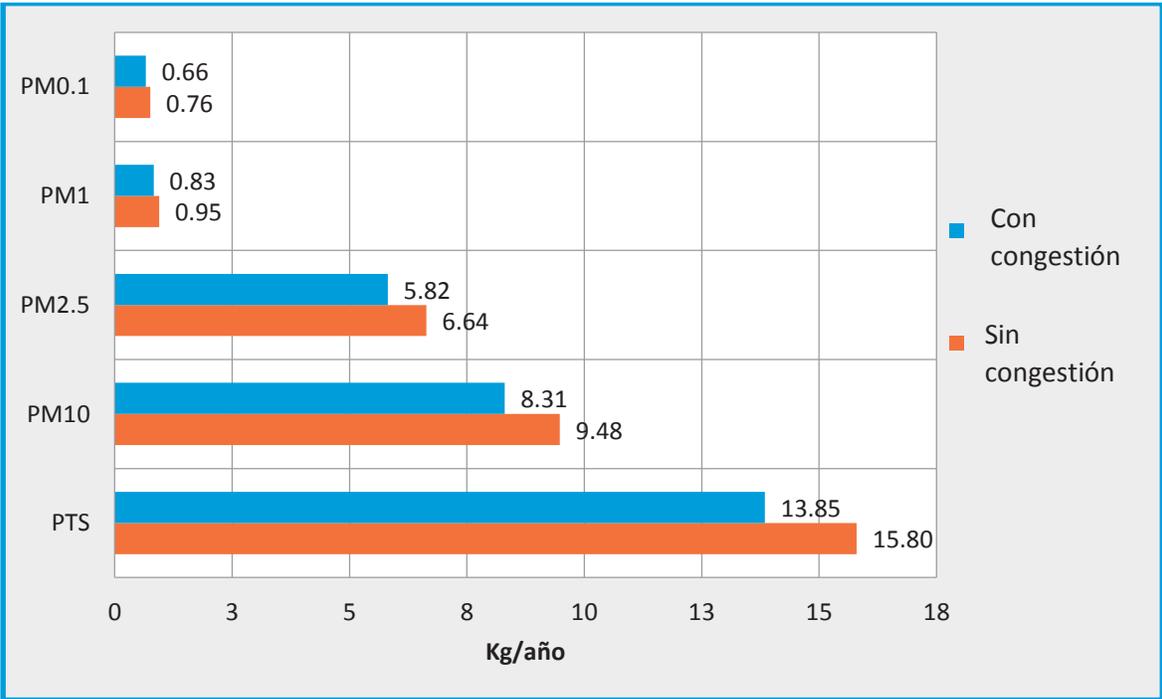


**Figura 31: Comparación de emisiones provenientes del desgaste de neumáticos**

Como se aprecia en la Figura 31, son los automóviles seguido por las camionetas y por los taxis, los vehículos que mayor cantidad de partículas suspendidas emiten a la atmósfera en este ambiente con valores que alcanzan los 6.45 kg/año, 4.39 kg/año y 2.87 kg/año respectivamente. Estos valores superan a los estimados para un escenario con congestión vehicular ya que, según resultados anteriores, en este escenario transitan una

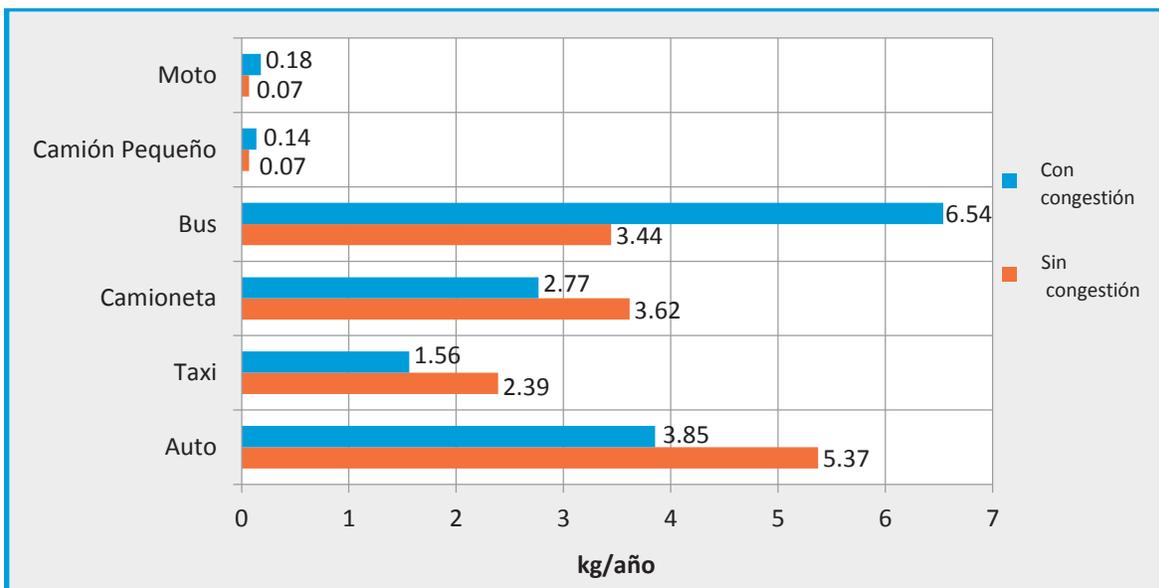
mayor cantidad de estos tipos de vehículos. Con valores inferiores se encuentran los buses (microbuses y ómnibus) los camiones pequeños y las motos, los cuales emiten partículas iguales a los 1.93 kg/año, 0.09 kg/año y 0.07 kg/año respectivamente. Estas emisiones son menores a las registradas en un ambiente con tráfico vehicular puesto que la cantidad de vehículos registrados en este escenario también es menor.

En total se emite una cantidad aproximada de 15.80 kilogramos de partículas totales suspendidas (PTS) en un recorrido de 1.41 kilómetros en un ambiente libre de congestión, las cuales son 14.08 por ciento mayores a las emitidas en un ambiente con congestión de vehículos. De este valor, el 60% corresponde a partículas menores a 10 micras ( $PM_{10}$ ) con un valor de 9.48 kg/año, 6.64 kg/año del total son partículas menores a 2.5 micras ( $PM_{2.5}$ ) y 0.95 y 0.76 kg/año corresponden a las  $PM_1$  y  $PM_{0.1}$  respectivamente (ver Figura 34).



**Figura 32: Comparación de emisiones totales provenientes del desgaste de neumáticos**

- Emisiones por desgaste de frenos

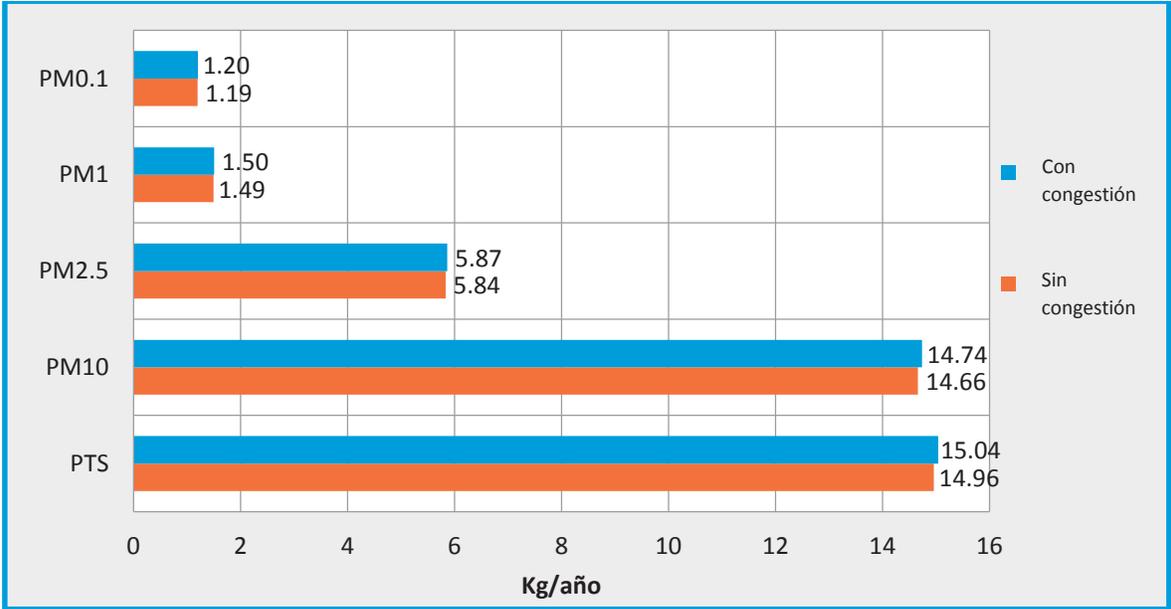


**Figura 33: Comparación de emisiones provenientes del desgaste de frenos**

Para el caso de las emisiones provenientes del desgaste de frenos en un ambiente sin congestión vehicular, son los automóviles y las camionetas, los vehículos que más cantidades de PTS emiten a la atmósfera con valores que alcanzan los 5.37 kg/año y 3.62 kg/año respectivamente. Los buses, que involucran a los ómnibus y a los microbús, emiten una cantidad de 3.44 kg/año y los taxis una cantidad aproximada de 2.39 kg/año. Al final se encuentran los camiones pequeños y las motocicletas con valores de 0.07 kg/año y 0.069 kg/año respectivamente.

La comparación de emisiones descrita en la Figura 33 muestra que los automóviles, taxis y camionetas presentan una mayor cantidad de emisiones provenientes del desgaste de frenos al presentarse un ambiente sin congestión de vehículos. Todo lo contrario ocurre con los buses (microbús y ómnibus), los camiones pequeños y las motocicletas los cuales emiten una mayor cantidad de contaminantes al encontrarse en un ambiente de tráfico, esto debido a que existe una mayor cantidad de estos vehículos recorriendo el área de estudio en un ambiente en donde el tránsito es pesado y lento lo que ocasiona un mayor grado de emisión de este tipo de contaminante.

El total de emisiones provenientes del desgaste de frenos de todos los vehículos que transitan por la zona y en la hora de monitoreo establecida, es de 14.96 kg/año de las cuales casi el 100 por ciento corresponde a PM<sub>10</sub> con un valor de 14.66 kg/año. Valores inferiores de 5.84 kg/año, 1.49 kg/año y 1.19 kg/año corresponden a las partículas menores de 2.5 micras, 1 micra y 0.1 micras respectivamente.

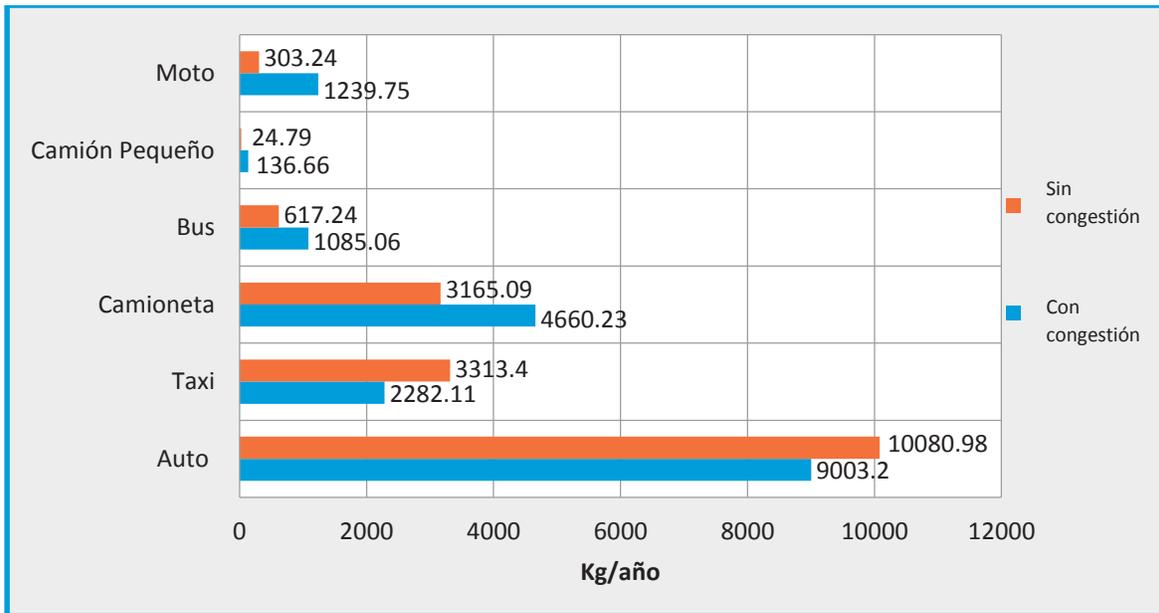


**Figura 34: Comparación de emisiones totales provenientes del desgaste de frenos**

Las comparaciones realizadas entre ambos escenarios muestran que las emisiones provenientes del desgaste de frenos es ligeramente mayor cuando se trata de un ambiente de congestión vehicular, tanto para las partículas totales suspendidas (PTS), como para las demás partículas (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub> y PM<sub>0.1</sub>) lo que se traduce como un pequeño aumento del 0.53% en comparación con las emisiones registradas para un ambiente sin congestión de vehículos.

- Emisiones Totales

El total de emisiones proveniente de un ambiente sin congestión vehicular, la cual corresponde a la suma de las emisiones en caliente, las evaporativas en circulación y las provenientes del desgaste de frenos y neumáticos, ubica a los automóviles como el mayor generador de contaminantes a la atmósfera con un valor de 10080.98 kg/año seguido por los taxis y las camionetas que emiten de 3 313.42 kg/año y 3 165.09 kg/año respectivamente. Con valores aun menores se encuentran los buses, las motocicletas y los camiones pequeños con cifras de emisiones de 617.24 kg/año, 303.25 kg/año y 24.79 kg/año respectivamente (ver Figura 37).

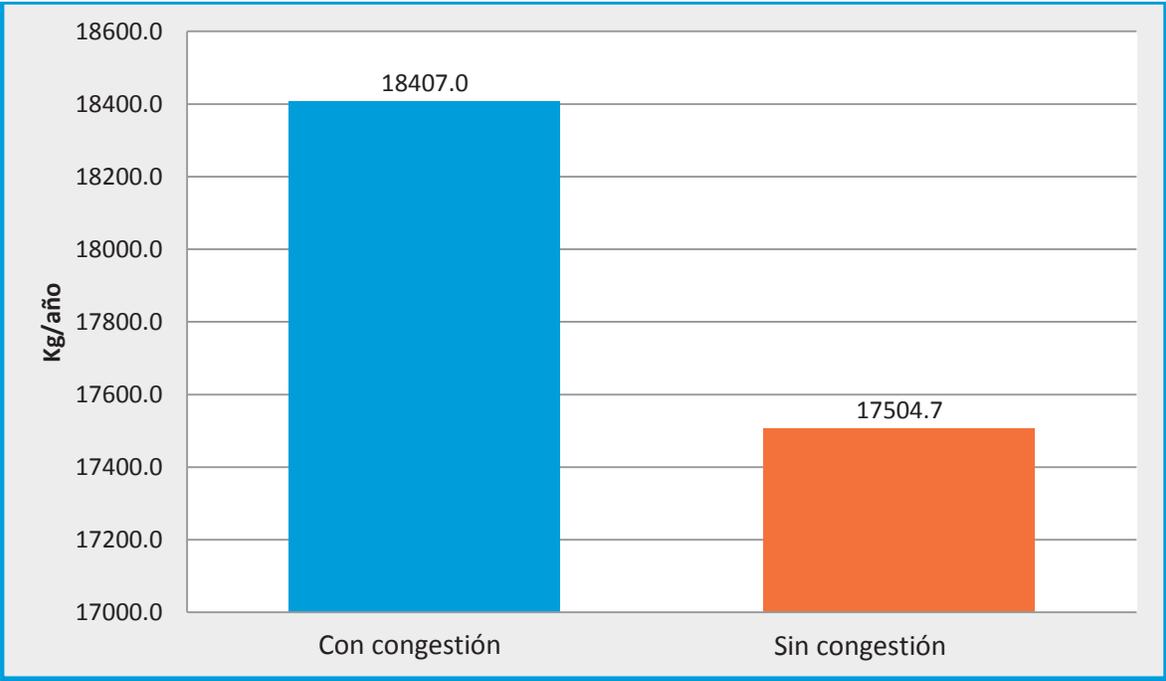


**Figura 35: Comparación de emisiones totales según las categorías vehiculares**

Según las comparaciones establecidas en la Figura 37, los automóviles y los taxis, en un ambiente libre de congestión vehicular, emiten una mayor cantidad de contaminantes a la atmósfera. Para las demás categorías vehiculares (camionetas, bus, camión pequeño y motocicleta) las emisiones totales estimadas son mayores cuando se presenta un escenario de tráfico vehicular en donde la velocidad desciende notablemente.

La suma de las emisiones totales vehiculares se representa en la Figura 36, en donde se aprecia que las emisiones estimadas para un escenario sin congestión vehicular es menor a las emitidas en un escenario de congestión con valores que alcanzan los 17504.7 kg/año y 18407.0 kg/año respectivamente, lo que significa una disminución del 5.15 por ciento de emisiones totales.

Esta disminución de contaminantes totales emitidos a la atmósfera se debe principalmente al aumento de velocidad que experimentan los vehículos cuando se presenta un ambiente fluido lo cual repercute directamente en la disminución de emisiones en caliente generados por el tubo de escape durante su recorrido pese a que la cantidad de vehículos que circulan por el área es mayor.



**Figura 36: Comparación de emisiones totales**

## V. CONCLUSIONES

- a) Con respecto a las emisiones vehiculares generadas en la avenida Javier Prado Oeste (entre las avenidas Las Flores y Camino Real) a la hora de mayor congestión vehicular:
- La hora de mayor congestión vehicular se da entre las 5:30 pm y las 7:00 pm de los días laborables (Lunes a Viernes) por donde transitan 1983 vehículos aproximadamente y en donde el automóvil posee una mayor participación abarcando el 42 por ciento del total de vehículos.
  - Las velocidades de recorrido vehicular descienden notablemente hasta llegar a valores de 7.7 km/hora para los buses, 8.5 km/hora para los vehículos livianos y camiones pequeños y 17.0 km/hora para las motocicletas, y en donde la velocidad única de recorrido es de 8.7 km/hora.
  - Las emisiones en caliente provenientes del tubo de escape alcanzan los 18 377.44 kg/año de los cuales el 82 por ciento corresponde al monóxido de carbono (CO), el 11 por ciento a los hidrocarburos (HC) y el 7 por ciento restante a los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).
  - Las emisiones evaporativas en circulación correspondientes a los hidrocarburos evaporados de los vehículos que utilizan la gasolina como combustible, ascienden hasta los 676.9 gr/año.
  - Las partículas totales suspendidas (PTS) correspondientes a las emisiones provenientes del desgaste de neumáticos, alcanzan los 13.85 kg/año en donde los automóviles son los principales responsables con el 33.1 por ciento de emisión.
  - Con respecto a las emisiones provenientes del desgaste de frenos, los cuales alcanzan un valor de 15.04 kg/año, son los buses (ómnibus y microbús) los principales generadores de PTS aportando el 43.48 por ciento de emisiones.
  - Las emisiones totales de contaminantes atmosféricos correspondientes a los distintos vehículos que circulan por el área de estudio durante la hora de mayor congestión vehicular alcanzan los 18 407.0 kg/año.

b) Con respecto a los nuevos escenarios generados en el área de estudio:

- Las emisiones vehiculares totales generadas durante la hora de mayor congestión vehicular comienzan a disminuir a medida que las velocidades aumentan hasta llegar a una reducción del 31 por ciento a la velocidad de 60 km/hora alcanzando un valor de 12689.13 kg/año. A partir de ese punto, las emisiones comienzan a aumentar lentamente a razón que la velocidad también aumenta hasta llegar a un valor de emisión de 16 734.79 kg/año a la velocidad de 100 km/hora lo que se traduce como una reducción del 9 por ciento con respecto al escenario real.
- Las emisiones vehiculares totales se reducen gradualmente 2.7 por ciento a razón que el 5 por ciento de vehículos (automóvil y taxi) a gasolina son sustituidos por vehículos a gas natural vehicular (GNV), es así que se llega hasta un valor de emisión total de contaminantes de 8 323.17 kg/año al tener el 100 por ciento de vehículos convertidos lo que se traduce como una reducción del 54.8 por ciento del escenario real. Por otro lado las emisiones totales aumentan a razón de 0.4 por ciento a medida que el 5 por ciento de vehículos (automóvil y taxi) ya existentes a GNV son sustituidos por vehículos gasolineros hasta llegar a un valor de emisión total de 19 769.31 kg/año cuando se alcanza el 100 por ciento de sustitución lo que representa un aumento del 7.4 por ciento en comparación con el escenario real.
- Al reemplazar a razón de 5 por ciento los vehículos (automóvil y camioneta) gasolineros por vehículos con tecnología híbrida, las emisiones totales generadas comienzan a disminuir a razón de 3.4 por ciento llegando hasta un valor de emisión total de 5 786.57 kg/año al tener un reemplazo del 100 por ciento de vehículos, lo que se traduce como una reducción en comparación con el escenario real del 68.6 por ciento de emisiones.
- Las emisiones vehiculares totales sufren una reducción del 2.3 por ciento a medida que el 5 por ciento de los vehículos a gasolina que no poseen convertidores catalíticos son reemplazados por vehículos que si los poseen hasta llegar a un valor de emisión de contaminantes de 10 189.85 kg/año con el 100 por ciento de vehículos reemplazados, lo que significa una reducción del 44.6 por ciento del escenario real. Por otro lado las emisiones totales aumentan a razón de 0.8 por ciento a medidas que

el 5 por ciento los vehículos que poseen convertidores catalíticos son sustituidos por vehículos que no poseen estos dispositivos hasta llegar a una cifra de emisión de 21 373.58 kg/año de contaminante cuando el 100 por ciento de vehículos son reemplazados, lo que se traduce como un aumento de emisión del 16.1 por ciento.

- c) Con respecto a las diferencias entre un ambiente sin congestión vehicular respecto a otro con congestión vehicular:
- La cantidad de vehículos que circulan por el área de estudio durante un ambiente libre de congestión vehicular es de 2477 unidades, 24.97 por ciento mayor a la que circula en un ambiente con congestión de vehículos.
  - La velocidad única promedio de recorrido es de 40.41 km/hora, 464 por ciento mayor a las registradas en un ambiente de congestión vehicular.
  - Las emisiones en caliente son 4.92 por ciento menor a las estimadas en un ambiente de congestión con un valor de 17 473.11 kg/año.
  - Las emisiones evaporativas provenientes de un escenario libre de congestión vehicular son 33.26 por ciento mayores a las registradas en un ambiente lleno de congestión de vehículos.
  - Las emisiones provenientes del desgaste de neumáticos alcanzan un valor de 15.80 kg/año, lo que se traduce como un aumento del 14.08 por ciento con respecto a un ambiente con congestión vehicular. Todo lo contrario ocurre con las emisiones provenientes del desgaste de frenos en donde las emisiones en un ambiente de congestión es 0.53 por ciento mayor que las experimentadas en un ambiente sin congestión de vehículos.
  - Las emisiones totales de contaminantes atmosféricos que se generan en un ambiente sin congestión vehicular las cuales alcanzan las cifras de 17 504.7 kg/año son 5.15 por ciento menores a las producidas en un ambiente de congestión el cual posee un valor total de emisión de 18407.0 kg/año.

## VI. RECOMENDACIONES

- a) Con respecto a la información y a la estimación de emisiones:
- El Ministerio de Transporte y Comunicaciones debería ser el ente encargado de administrar toda la información con respecto al parque automotor y esta debería ser de fácil y libre acceso para el público en general.
  - Elaborar una lista de factores de emisión para Lima Metropolitana, lo cual ayudaría a obtener resultados de emisiones más exactos y no estar usando modelos de otros países los cuales generan estimaciones poco reales para nuestro caso.
  - Complementar los resultados obtenidos con un análisis completo de calidad de aire que involucren dispersión de contaminantes.
- b) Con respecto a los nuevos escenarios generados:
- Determinar la viabilidad socioeconómica y técnica de cada escenario generado con el fin de implementa herramientas de control para reducir la contaminación atmosférica en la capital.
  - Comparar las emisiones vehiculares obtenidas en el área de estudio con los Límites Máximos Permisibles (LMP) y con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para determinar el grado de contaminación en la zona.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACTUALIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA MODEM PARA EL GRAN SANTIAGO. 2010. Ministerio de planificación MIDEPLAN. Santiago de Chile.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASES REGISTRY. 2002. Óxidos de Nitrógeno.
- AGUILAR, Z; ALVA, J. 2004. Microzonificación sísmica de Lima.
- AMVA, ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. 2006. Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas en el Valle de Aburrá.
- ASIF, F. 2005. Motorization, urbanization and air pollution.
- BALLESTER, F; TENÍAS, J; PEREZ-HOYO, S. 1999. Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud. Vol. 73. (2).
- BROMBERGA, P; KORENB, H. 1995. Ozone induced respiratory dysfunction and disease. 307-316.
- CAMINOS, J; ENRIQUE, C; GHIRARDI, R; GRAIZARO, A; RUSILLO, S; PACHECO, C. 2007. Calidad de aire en la ciudad de Santa Fe.
- CARRASCO, D. 2008. Medición y análisis de factores de emisión para vehículos motorizados de la región metropolitana de Santiago de Chile.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2002. Estudio económico de América Latina y el Caribe. “La congestión de tránsito: sus consecuencias económicas y sociales”, Boletín N° 170, Santiago de Chile.
- CIFUENTES, L. 2007. Diseño y Evaluación de Medidas de Emisiones para el Sector de Transportes en la Región Metropolitana en preparación para CONAMA RM. Santiago de Chile.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. 2009. Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.
- CONSEJO DE TRANSPORTE DE LIMA Y CALLAO – SECRETARÍA TÉCNICA. 2010. Contaminación ambiental y alternativas de uso de combustibles limpios para el transporte público en Lima y Callao.

- CORVALAN, R. 1998. Contaminación atmosférica en la ciudad de Santiago. (1). DEFENSORIAL DEL PUEBLO. INFORME DEFENSORIAL N° 116. 2010. La calidad del aire en Lima y su impacto en la salud y la vida de sus habitantes.
- DELLSPERGER, V. 2003. La capa de ozono. (10).
- DIARIO EL PERUANO. 2001. <http://www.elperuano.com.pe/edicion/>
- DIARIO PERÚ 21. 2011. <http://www.peru21.pe/>
- ECE. 1999. Methodology for calculating transport emissions and energy consumption. European Commission sponsored project in the framework of program in the area of transport, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- ECHARRI, L. 2007. Contaminación de la atmósfera. (7) 1-20.
- EMEP/CORINAIR. EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA). 2004. Emission Inventory Guidebook Technical Report No.30. Third Edition.
- EPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2013
- FLORES, J. 1997. Contaminantes atmosféricos primarios y secundarios. (9) 123-148.
- GIRALDO, L; BEHRENTZ, E. 2009. Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes.
- GRAZULEVIVIENE, R; MAROZIENE, L; DULSKIENE, V. 2004. Exposure to urban nitrogen dioxide pollution and risk of myocardial infarction. (4) 293-298.
- GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE FUENTES FIJAS Y MÓVILES EN EL REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSPARENCIA DE CONTAMINANTES. 2009. Comisión Nacional del Medio Ambiente. República de Chile.
- GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES. 2012. Los vehículos automotores como fuente de emisión. (1) 25-34.
- GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES. 2007. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México D.F.
- INCHE, J. 2001. Estimación de Emisiones en Vehículos en Circulación.

- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA
- LOZANO, A; TORRES, V; ANTON, J. 2003. Tráfico vehicular en zonas urbanas. 34-45.
- MANUAL DE ECOLOGÍA BÁSICA Y EDUCACIÓN AMBIENTAL. 2003. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA. Capa de Ozono. (10).
- MCGRAFF, H. 2009. Contaminación Atmosférica. (10) 234-262.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. 2014. <http://www.mtc.gob.pe/portal/inicio.html>
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. 2013. <http://www.minam.gob.pe/>
- MODELO DE EMISIONES VEHICULARES, MODEM. 2002. República de Chile.
- MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA. 2013. <http://www.munlima.gob.pe/>
- NAVARRO, S. 2008. Ingeniería del tránsito. (5).
- MUÑOZ, A; QUIROZ, C; PAZ, J. 2006. Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud en adultos que laboran a diferentes niveles de exposición.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD OMS. 2013. <http://www.who.int/es/>
- RACERO, J; CANCA, J; GALAN, R; VILLA, G. 2006. Estimación de la emisión de contaminantes debido al tráfico urbano mediante modelos de asignación del tráfico.
- ROMIEU, I. 1989. Ozono y otros oxidantes fotoquímicos. (3) 218-226.
- SANCHEZ, G; VEGA, E; REYES, E; MUGICA, V. 2004. Distribución de fuentes de compuestos orgánicos volátiles en la atmósfera de la ciudad de México.
- SENAMHI. 2013. <http://www.senamhi.gob.pe/>
- THOMSON, I. 2002. La congestión del tránsito urbano causas y consecuencias económicas y sociales. Rev. 76 10-121.
- VICENTINI, V; HUICI, R; DE NEVO, E; GREENSTEIN, J; TADDIA, A; CARDONA, I. 2003. Programa de Transporte Urbano de Lima Metropolitana – Sub sistema Norte – Sur.

- ZAVALA, M. 2009. Emisiones de compuestos tóxicos por fuentes vehiculares. III Taller sobre implicaciones en política pública de nuevos hallazgos científicos sobre contaminación atmosférica □contaminantes tóxicos en aire.



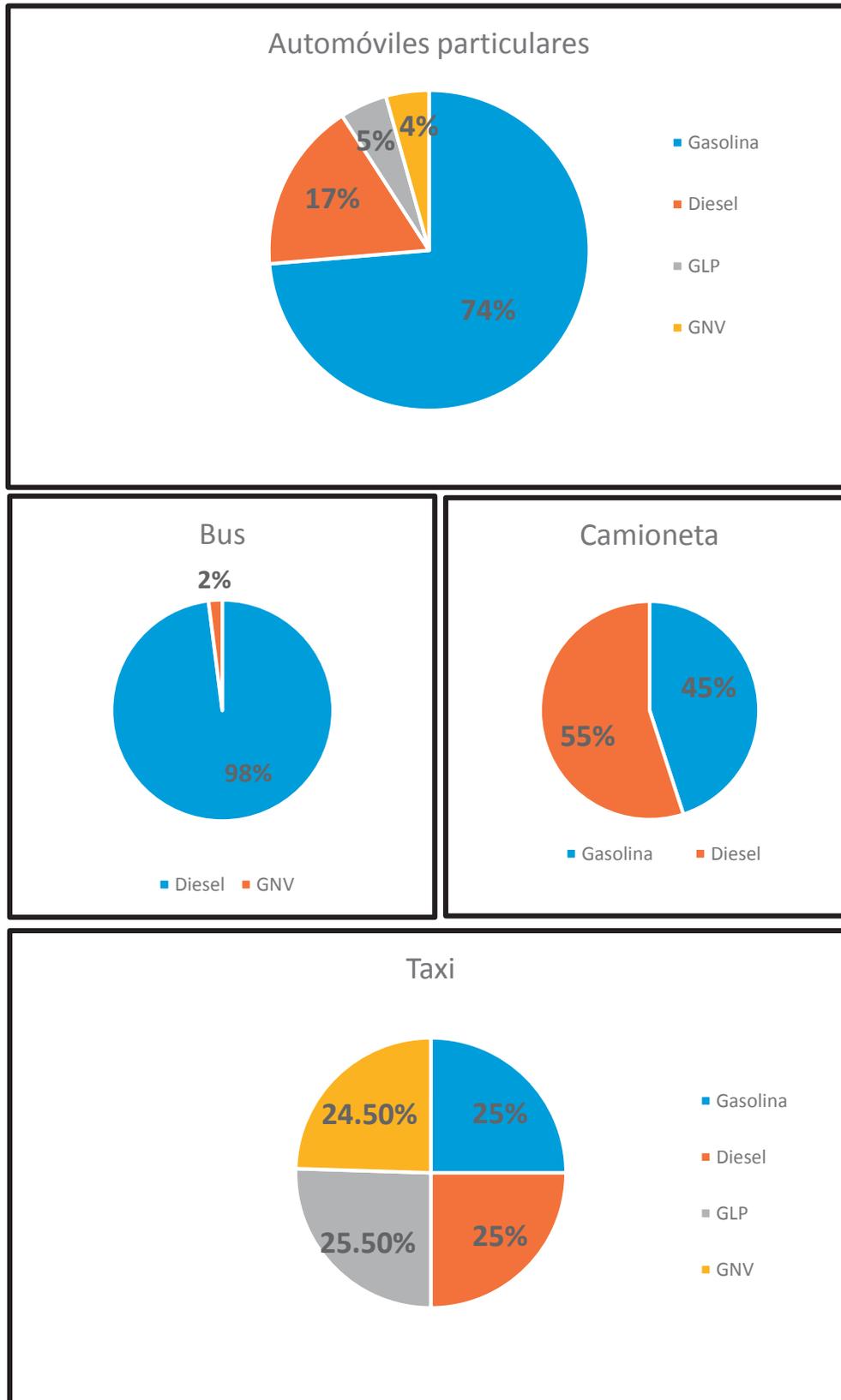
ANEXO 2 Factores de Emisión (gr/m)

C	CO	HC	NOx
A G SC	46.274- 0.406V <sup>2</sup> 0.0032V <sup>2</sup>	8.245V <sup>-0.318</sup>	1.1560.021V <sup>2</sup> 0.00004V <sup>2</sup>
A G CC	6.60218- 0.15623V <sup>2</sup> 0.00137V <sup>2</sup>	0.5967- 0.0106V <sup>2</sup> 0.0000672V <sup>2</sup>	0.91335- 0.01184V <sup>2</sup> 0.00011V <sup>2</sup>
A	3.1078- 0.0256V <sup>2</sup> 0.0002V <sup>2</sup>	1.02408- 0.0113V <sup>2</sup> 0.000066V <sup>2</sup>	1.6413- 0.01592V <sup>2</sup> 0.00014V <sup>2</sup>
A GL	12.523- 0.418V <sup>2</sup> 0.0039V <sup>2</sup>	39.45V <sup>-0.865</sup>	0.77V <sup>0.285</sup>
A GNV	0.6	0.03	0.12
SC	54.44- 0.406V <sup>2</sup> 0.0032V <sup>2</sup>	9.7V <sup>-0.318</sup>	1.1560021V <sup>2</sup> -0.00004V <sup>2</sup>
CC	7.6179- 0.156230.001375V <sup>2</sup>	0.6885- 0.0106V <sup>2</sup> 0.0000672V <sup>2</sup>	1.0351- 0.01184V <sup>2</sup> 0.00011V <sup>2</sup>
GL	13.775- 0.4180.0039V <sup>2</sup>	39.45V <sup>-0.865</sup>	0.77V <sup>0.285</sup>
	3.6562- 0.0256V <sup>2</sup> 0.0002V <sup>2</sup>	1.205- 0.0113V <sup>2</sup> 0.00006V <sup>2</sup>	1.7905- 0.01592V <sup>2</sup> 0.00014V <sup>2</sup>
GNV	0.6	0.03	0.12
C G	69.347- 1.5132V <sup>2</sup> 0.01104V <sup>2</sup>	7.663- 0.117V <sup>2</sup> 0.000677V <sup>2</sup>	2.133- 0.0079V <sup>2</sup> 0.00009V <sup>2</sup>
C	3.29- 0.00256V <sup>2</sup> 0.0002V <sup>2</sup>	1.084- 0.0113V <sup>2</sup> 0.00006V <sup>2</sup>	1.7905- 0.0159V <sup>2</sup> 0.000014V <sup>2</sup>
	3.29- 0.00256V <sup>2</sup> 0.0002V <sup>2</sup>	1.144- 0.00113V <sup>2</sup> 0.00006V <sup>2</sup>	2.089- 0.01592V <sup>2</sup> 0.0006V <sup>2</sup>
GNV	1.00	1.00	0.52
B	93.2V <sup>-0.6945</sup>	56.168V <sup>-0.8774</sup>	19.446- 0.0941V <sup>2</sup> 0.0006V <sup>2</sup>
C	63.376V <sup>-0.6945</sup>	26.18V <sup>-0.8774</sup>	17.1127- 0.0941V <sup>2</sup> 0.0006V <sup>2</sup>
	18.10.172V <sup>2</sup> - 0.001V <sup>2</sup>	20.1- 0.409V <sup>2</sup> 0.0035V <sup>2</sup>	0.064-0.002V <sup>2</sup> 0.00003V <sup>2</sup>
	68.3- 1.92V <sup>2</sup> 0.0193V <sup>2</sup>	6.95- 0.211V <sup>2</sup> 0.0019V <sup>2</sup>	0.09-0.001V <sup>2</sup> 0.00005V <sup>2</sup>

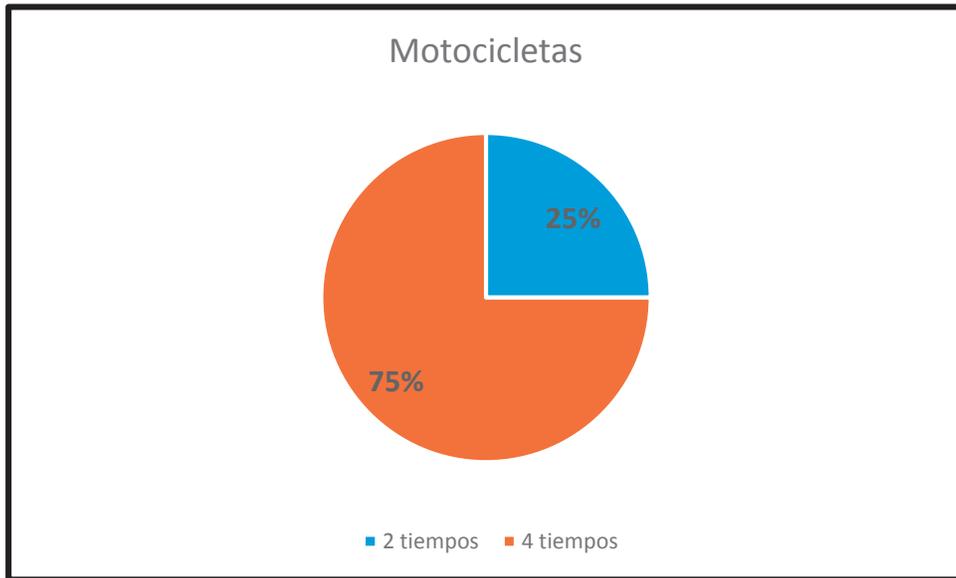
En donde

V Velocidad vehicular promedio según la categoría vehicular (m/hora)

ANEXO 3: Uso de combustibles vehiculares en el área de estudio



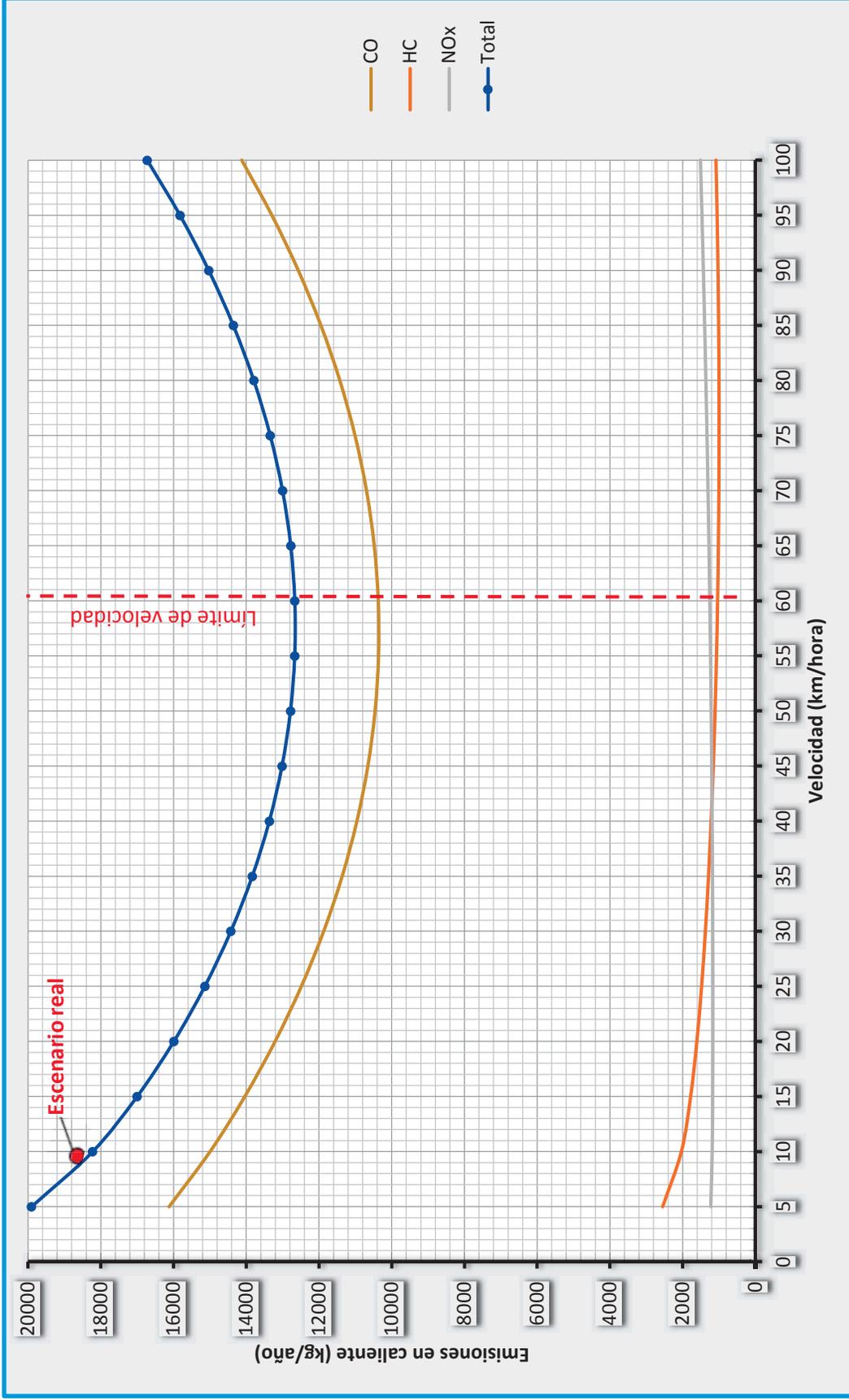
ANEXO 1 Tipos de motocicletas



ANEXO 2 Resiñ de valor Reid – Gasolina

Resiñ de valor Reid	Asi	A	3	
---------------------	-----	---	---	--

ANEXO 1: Comportamiento del CO



ANEXO □ Uso de convertidores catalíticos

