

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO,  
GAS NATURAL Y PETROQUÍMICA**



**“PRINCIPALES CAUSAS DE LA  
CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y PROPUESTAS  
PARA SU MITIGACIÓN POR EFECTO DEL  
PARQUE AUTOMOTOR DE TRANSPORTE  
PÚBLICO DE LIMA CUADRADA”**

**TESIS  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO PETROQUÍMICO**

**ELABORADO POR:  
LIZBETH CHOY ROSSI  
PROMOCIÓN 2007-I  
LIMA-PERÚ**

**2014**

## DEDICATORIA

*A mi hijo, Sebastián*

*A mis padres, Alfredo y Elizabeth*

*A mis hermanos, Martín y Jean Franco.*

*Por brindarme siempre su apoyo incondicional,  
darme fuerzas y ánimos para poder concretar mis proyectos.*

## AGRADECIMIENTOS

A mi querida alma máter, la Universidad Nacional de Ingeniería.

A mi asesor, el Ing. Juan Espinoza Podio, por su disposición, apoyo y orientación en todo momento, para que se consolide la presente tesis.

De igual manera, agradezco al Ing. Amador Paulino Romero por sus aportes en la mejora de este trabajo.

Por último, agradezco a cada uno de mis profesores a lo largo de la carrera por contribuir a mi desarrollo profesional.

## SUMARIO

La presente tesis tiene como objetivo determinar las principales causas de la contaminación del aire y elaborar propuestas para su mitigación por efecto del parque automotor de transporte público de Lima Cuadrada, para lo cual se definió su estado situacional, el efecto de la inadecuada calidad de los combustibles, así como la relación de la contaminación del aire con la congestión vehicular.

Con la finalidad de cuantificar las emisiones de estas fuentes móviles se ha utilizado como herramienta el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE), software desarrollado por la Universidad de California en Riverside y financiado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Este modelo permitió generar inventarios de emisiones en diferentes escenarios (años 2009, 2014 y 2019) en base a factores de emisión, actividad vehicular y distribución de la flota vehicular.

La propuesta del escenario del año 2019 permite visualizar que el material particulado se reduce notablemente; dicho contaminante criterio es el más dañino para la salud humana.

Finalmente, se consolida el objetivo de la tesis al determinar que las principales causas que originan la contaminación del aire son la congestión vehicular, el parque automotor obsoleto y el tipo de combustible. Asimismo, se concluye que la identificación de dichas causas permite elaborar propuestas para mitigar la contaminación del aire por efecto del transporte público de Lima Cuadrada, siendo la salud humana la más relevante para el área de estudio de la presente tesis.

## INDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS .....	II
SUMARIO .....	III
INDICE .....	IV
LISTA DE GRÁFICOS .....	VII
LISTA DE TABLAS.....	VII
LISTA DE FOTOGRAFÍAS .....	VIII
LISTA DE IMÁGENES .....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I      PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
1.1 Situación Actual .....	3
1.1.1 Área de estudio.....	3
1.1.2 Flujo Vehicular de Lima Cuadrada .....	3
1.1.3 Aforo vehicular .....	11
1.1.4 Salud Pública .....	11
1.2 Árbol de Problemas: Causas y Efectos .....	12
1.3 Árbol de Objetivos: Medios y Fines .....	13
1.4 Planteamiento del Problema.....	14
1.5 Justificación .....	15
1.6 Objetivos.....	15
1.7 Formulación de la Hipótesis.....	16
1.8 Matriz de Consistencia.....	16
<b>CAPÍTULO II      MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1 Definición de Aire .....	18
2.2 La Contaminación del Aire .....	18
2.2.1 Los contaminantes del aire.....	20
2.3 Procesos de Emisión de Vehículos Automotores .....	20
2.3.1 Emisiones Evaporativas.....	21
2.3.2 Emisiones por el tubo de escape.....	22

2.4	Contaminantes emitidos por Fuentes Móviles .....	22
2.5	Incidencia de las Emisiones de las Fuentes Móviles.....	27
2.6	Causas que agudizan las Emisiones Vehiculares.....	28
2.6.1	Calidad de Combustible .....	28
2.6.2	La congestión Vehicular.....	29
2.6.3	Parque automotor obsoleto .....	29
2.7	Efectos de la contaminación del aire .....	30
2.7.1	Efectos en la Salud .....	30
2.7.2	La Lluvia ácida .....	34
2.7.3	Calentamiento Global .....	35
2.8	La Contaminación del aire como Externalidad Negativa .....	35
2.9	Herramientas para evaluar la calidad del aire .....	36
2.9.1	Inventarios de Emisiones de Fuentes Móviles .....	36
2.10	Marco Legal .....	37
2.11	Participación de las entidades involucradas.....	39
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>		<b>42</b>
3.1	Tipo y Diseño de investigación .....	42
3.2	Fuentes y Técnicas de Recolección de Información .....	42
<b>CAPÍTULO IV ELABORACIÓN DE UN INVENTARIO ESTIMADO DE EMISIONES CONTAMINANTES .....</b>		<b>44</b>
4.1	Aplicación del Modelo Internacional IVE .....	44
4.1.1	Elaboración del Archivo Flota .....	45
4.1.2	Elaboración del Archivo Localidad .....	50
<b>CAPÍTULO V ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>		<b>57</b>
5.1	Escenario 1: Caracterización del transporte público en el año 2009 .....	57
5.2	Escenario 2: Caracterización del transporte público en el año 2014 .....	61
5.3	Escenario 3: Caracterización del transporte público en el año 2019 .....	63
5.4	Comparación de Escenarios .....	67
5.5	Comprobación de Hipótesis.....	68
<b>CAPÍTULO VI CONCLUSIONES .....</b>		<b>69</b>
<b>CAPÍTULO VII RECOMENDACIONES .....</b>		<b>70</b>

<b>CAPÍTULO VIII BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO 3.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO 4.....</b>	<b>80</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1. Distribución de Transporte Público por año de Fabricación .....</b>	<b>9</b>
<b>Gráfico 2. Antigüedad del Transporte Público .....</b>	<b>9</b>
<b>Gráfico 3. Tipos de combustible consumidos por el Transporte Público .....</b>	<b>10</b>
<b>Gráfico 4. Distribución de la Flota vehicular de transporte público según tipo de Vehículo autorizada por la Municipalidad de Lima .....</b>	<b>10</b>
<b>Gráfico 5. Primeras Causas de Morbilidad, según procedencia del paciente (Lima) .....</b>	<b>12</b>
<b>Gráfico 6. Emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial por sector en el 2011 .....</b>	<b>19</b>
<b>Gráfico 7. Reducción de Azufre en el Diesel .....</b>	<b>29</b>
<b>Gráfico 8 . Velocidades Promedio en las Avenidas Tacna y Abancay .....</b>	<b>53</b>
<b>Gráfico 9 . Traza de velocidad en la Avenida Abancay en la noche.....</b>	<b>54</b>
<b>Gráfico 10. Traza de velocidad en la Avenida Tacna en la mañana (9 a.m.).....</b>	<b>54</b>
<b>Gráfico 11. Total de Emisiones de Contaminantes Criterio en Lima Cuadrada</b>	<b>61</b>
<b>Gráfico 12. Total de Emisiones de Contaminantes Criterio en Lima Cuadrada (2014).....</b>	<b>63</b>
<b>Gráfico 13. Total de Emisiones de Contaminantes Criterio en Lima Cuadrada (2019).....</b>	<b>66</b>
<b>Gráfico 14. Comparación de Escenarios.....</b>	<b>67</b>
<b>Gráfico 15. Mitigación de Emisiones Contaminantes .....</b>	<b>68</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1. Volumen vehicular en hora punta en ambos sentidos de circulación de un día laborable en la Avenida Abancay (Año 2014) .....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 2. Volumen vehicular en hora punta en ambos sentidos de circulación de un día laborable en la Avenida Tacna (Año 2014).....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 3. Matriz de Consistencia.....</b>	<b>16</b>
<b>Tabla 4 . Tipos de Combustible .....</b>	<b>28</b>
<b>Tabla 5 . Longitud de Avenidas Tacna y Abancay .....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 6. Estimado Anual de Recorrido por Edad de Vehículo.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 7. Índices definidos para el Transporte Público de Lima Cuadrada (2014) .....</b>	<b>48</b>



<b>Tabla 8. Resumen de Índices (2014)</b> .....	48
<b>Tabla 9. Archivo Flota creado en Excel (2014)</b> .....	49
<b>Tabla 10. Potencia Específica Vehicular (VSP) agrupada en 20 bins</b> .....	55
<b>Tabla 11. Distribución de los patrones de conducción</b> .....	56
<b>Tabla 12. Resumen de índices (2009)</b> .....	58
<b>Tabla 13. Archivo Flota en Excel (2009)</b> .....	59
<b>Tabla 14. Resumen de Índices (2019)</b> .....	64
<b>Tabla 15. Archivo Flota (2019)</b> .....	65

### LISTA DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1. Inspector Municipal de Transporte en la Avenida Abancay</b> .....	4
<b>Fotografía 2. Ómnibus obsoleto (antiguo school bus)</b> .....	5
<b>Fotografía 3. Ómnibus obsoleto emitiendo gases contaminantes del tubo de escape en la Avenida Abancay</b> .....	5
<b>Fotografía 4. Microbús obsoleto circulando por la Avenida Tacna</b> .....	6
<b>Fotografía 5. Vista de artefacto de alumbrado público cuya superficie del difusor está cubierta de Material Particulado en la Avenida Abancay</b> .....	8
<b>Fotografía 6. Vista de alumbrado público con difusor limpio</b> .....	8
<b>Fotografía 7. Vista del uso del SpeedView</b> .....	51
<b>Fotografía 8. Resumen de datos con la aplicación SpeedView</b> .....	52

### LISTA DE IMÁGENES

<b>Imagen 1. Mapa de Lima Cuadrada</b> .....	3
<b>Imagen 2. Edad del Ómnibus de la Fotografía 3</b> .....	6
<b>Imagen 3. Edad del microbús de la Fotografía 4</b> .....	7
<b>Imagen 4. Árbol de Problemas: Causas y Efectos</b> .....	13
<b>Imagen 5. Árbol de Objetivos: Medios y Fines</b> .....	14
<b>Imagen 6. Consecuencias en la Salud</b> .....	33

## INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental ha ido adquiriendo mayor importancia e interés a nivel mundial. Nuestro país no debe ser ajeno a ello; por lo tanto, es de suma importancia que tanto el Estado, como principal actor, y la población tomen conciencia sobre los daños, en muchos casos irreversibles, causados por los efectos de la contaminación del aire, suelo y agua.

En ese sentido, este año 2014 ha sido declarado por el Poder Ejecutivo como el “Año de la Promoción de la Industria Responsable y del Compromiso Climático” con el fin de promover el desarrollo de una industria responsable sin descuidar a la población a nivel nacional ni al medio ambiente. Esta declaración forma parte del compromiso del Gobierno actual en la organización de la COP 20 – Cumbre Climática de la Organización de las Naciones Unidas, que se llevará a cabo en la ciudad de Lima del 1 al 12 de diciembre del año en curso, en donde continuarán las negociaciones para conseguir un nuevo acuerdo climático.

Con respecto a la calidad del aire, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), cada año mueren 1,3 millones de personas por la contaminación atmosférica en el mundo, que viene a ser una cifra alarmante. Asimismo, un estudio reciente del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) revela que el aire que se respira en Lima contiene más niveles de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), un gas contaminante producido sobre todo por el parque automotor (camiones y buses petroleros), en comparación con el 2010.

De otro lado, mediante la Ley N° 30130, del 1 de diciembre de 2013, se declara de necesidad pública e interés nacional la prioritaria ejecución de la modernización de la Refinería de Talara para asegurar la preservación de la calidad del aire y la salud pública.

La presente tesis apunta a determinar las principales causas de la contaminación del aire y elaborar propuestas para su mitigación por efecto del parque automotor de transporte público de Lima Cuadrada.

La tesis consta de siete capítulos. En el primer capítulo se presenta la situación actual del transporte público y con la finalidad de plasmar el planteamiento del problema se hace uso de la herramienta del árbol de problemas de causas y efectos así como el árbol de objetivos de medios y fines.

El segundo capítulo aborda lo referente al marco teórico, marco legal así como una definición de términos que sustentan la propuesta de la tesis.

El tercer capítulo incluye la metodología de la investigación, donde se aborda las técnicas y procedimientos que se utilizaron para el desarrollo de esta tesis.

En el cuarto capítulo de la investigación, se describe el uso del modelo IVE (International Vehicle Emissions), software financiado por la Agencia de Protección del Medioambiente de los Estados Unidos, EPA por sus siglas en inglés, específicamente diseñado para generar un inventario de emisiones de vehículos motorizados y tener la flexibilidad que necesitan las naciones en vías de desarrollo en su esfuerzo de reducir las emisiones de fuentes móviles. El uso de este programa permitirá consolidar las evidencias respecto a la contaminación del aire por efecto del parque automotor de transporte público.

El quinto capítulo explica los análisis y resultados obtenidos del programa IVE proponiendo diferentes escenarios y propuestas para mitigar la contaminación del aire por efecto del transporte público de Lima Cuadrada.

Finalmente, en el sexto y séptimo capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones, respectivamente, más relevantes de la presente tesis.

## CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Situación Actual

#### 1.1.1 Área de estudio

El área de estudio objeto de la presente investigación es Lima Cuadrada (ver imagen 1), que comprende el río Rímac al norte, la Avenida Abancay al este, la Avenida Colmena al sur y la Avenida Tacna al oeste. Es preciso hacer notar que las Avenidas Abancay y Tacna están clasificadas como vías colectoras de acuerdo al Sistema Vial Metropolitano de Lima aprobado mediante la Ordenanza N° 341 de fecha diciembre de 2001.

Imagen 1. Mapa de Lima Cuadrada



Fuente: Diario El Comercio. Extraído el 26 de mayo de 2013.

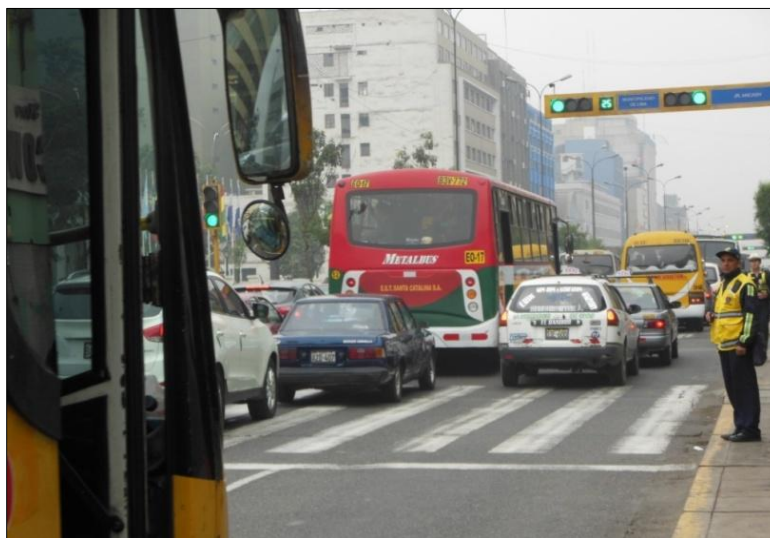
#### 1.1.2 Flujo Vehicular de Lima Cuadrada

El área de estudio (Lima Cuadrada) se considera como una zona crítica debido a la alta congestión de transporte público y privado que proviene de los distritos más

poblados de Lima Metropolitana, entre los cuales tenemos: San Juan de Lurigancho (con 1'025,930 habitantes), San Martín de Porres (659,612) y Comas (517,881)<sup>1</sup>.

Además, por la condición crítica del área mencionada, la Municipalidad Metropolitana de Lima implementó un reordenamiento de paraderos en la avenida Abancay a fines del año 2011 y casi simultáneamente en la avenida Tacna, con el apoyo de Inspectores Municipales de Transporte (Ver fotografía 1).

**Fotografía 1. Inspector Municipal de Transporte en la Avenida Abancay**



A continuación, se muestra otras vistas fotográficas captadas durante el trabajo de campo, donde se aprecia vehículos antiguos que incluso han salido de circulación en otros países (Fotografía 2 y 4) y vehículos emitiendo gases contaminantes (Fotografía 3).

Además, en las imágenes 2 y 3 se resalta en líneas rojas el año de fabricación y el tipo de combustible de dos vehículos de transporte público, cuyos datos fueron verificados por medio de sus números de placa, ingresando al link “Consulta de Placa” de la página web de la Gerencia de Transporte Urbano.

---

<sup>1</sup> Sistema de Consulta de Datos del INEI. Fecha de consulta: 03/05/2013. <<http://www.inei.gob.pe/sistemas-consulta/>>

Fotografía 2. Ómnibus obsoleto (antiguo school bus)



Fotografía 3. Ómnibus obsoleto emitiendo gases contaminantes del tubo de escape en la Avenida Abancay





Imagen 3. Edad del microbús de la Fotografía 4

**Consulta de Placa**

Placa

 **Datos del Vehículo**

<b>Modalidad:</b>	<b>TRANSPORTE PUBLICO</b>	<b>Longitud:</b>	6.4
<b>Marca:</b>	ISUZU	<b>Altura:</b>	2.5
<b>Modelo:</b>	JOURNEY	<b>Ancho:</b>	2
<b>Clase:</b>	MICROBUS	<b>Carga Útil:</b>	1.82
<b>Año:</b>	1987	<b>Capacidad:</b>	25 pasajeros.
<b>Combustible:</b>	PETROLEO	<b>Asientos:</b>	26
<b>Serie:</b>	BL36-7929107	<b>Ruedas:</b>	6
<b>Motor:</b>	4BC2-727469	<b>Ejes:</b>	2
<b>Colores:</b>	BLANCO,AZUL,AMARILLO	<b>Puertas:</b>	1
<b>Peso Seco:</b>	3.01	<b>Fecha Inscrip.:</b>	29/10/1996
<b>Peso Bruto:</b>	4.83	<b>Estado:</b>	<b>ACTIVO</b>

*Fuente: Gerencia de Transporte Urbano*

La vista fotográfica 5 muestra una unidad de alumbrado público instalada en la cuadra 1 de la Av. Abancay, donde en los artefactos señalados con línea roja se aprecia que toda la superficie del difusor se encuentra cubierta con material particulado y que contrasta de manera notoria con el artefacto de la fotografía 6, el cual muestra su cubierta protectora transparente y libre de suciedad contaminante.



**Fotografía 5. Vista de artefacto de alumbrado público cuya superficie del difusor está cubierta de Material Particulado en la Avenida Abancay**

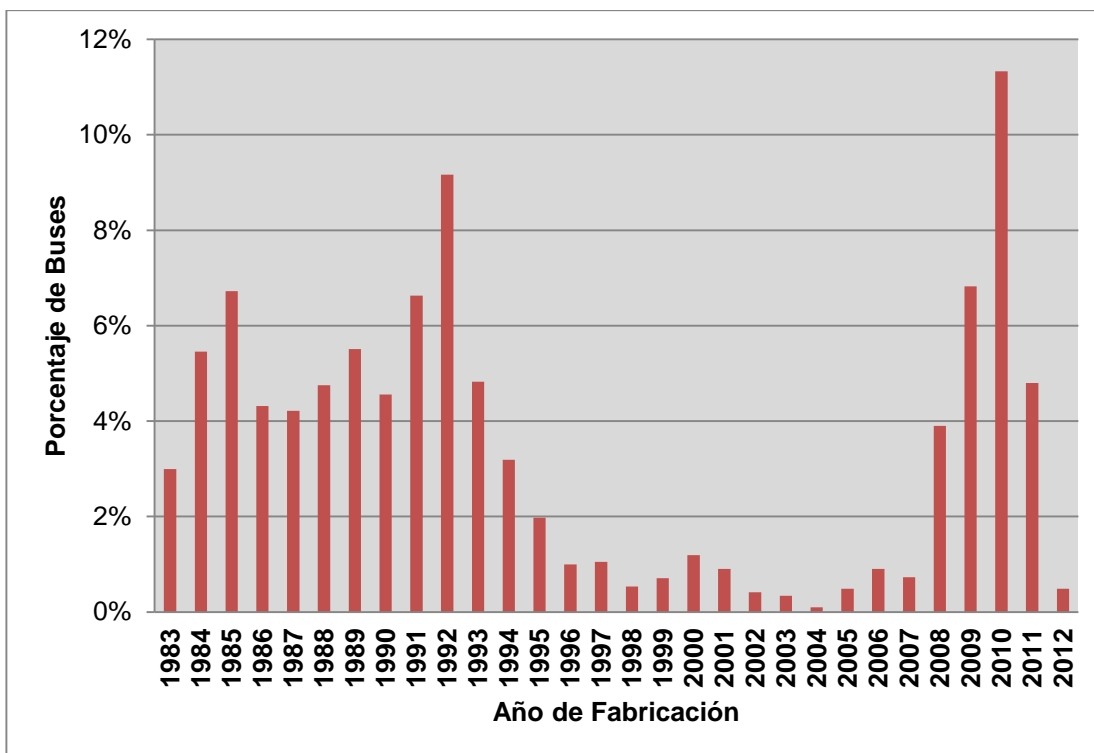


**Fotografía 6. Vista de alumbrado público con difusor limpio**



El transporte público que circula por las avenidas Abancay y Tacna, según la información solicitada a la Municipalidad de Lima Metropolitana, cuenta con 71 rutas autorizadas. La flota de transporte público que circula por estas avenidas es de 4004 entre buses y microbuses. La edad promedio de esta flota es de 17 años, mientras que el 54.3 % tiene más de 20 años de edad, tal como se puede observar en el gráfico 1, mientras que en el gráfico 2 se aprecia la cantidad de transporte público por edad al año 2012.

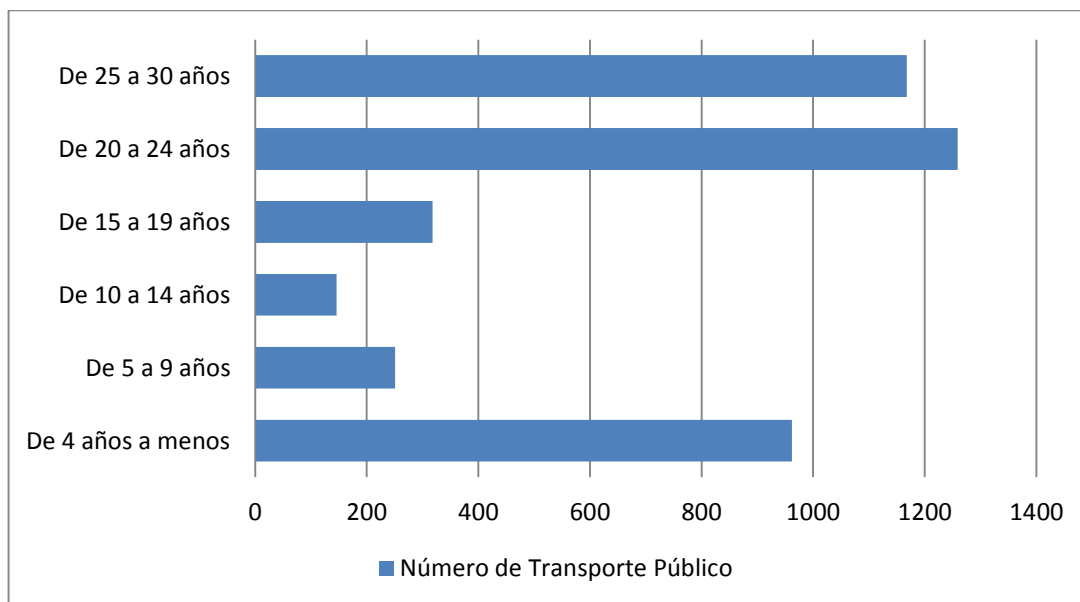
**Gráfico 1. Distribución de Transporte Público por año de Fabricación**



Fuente: Municipalidad Metropolitana de Lima.

Elaboración Propia

**Gráfico 2. Antigüedad del Transporte Público**

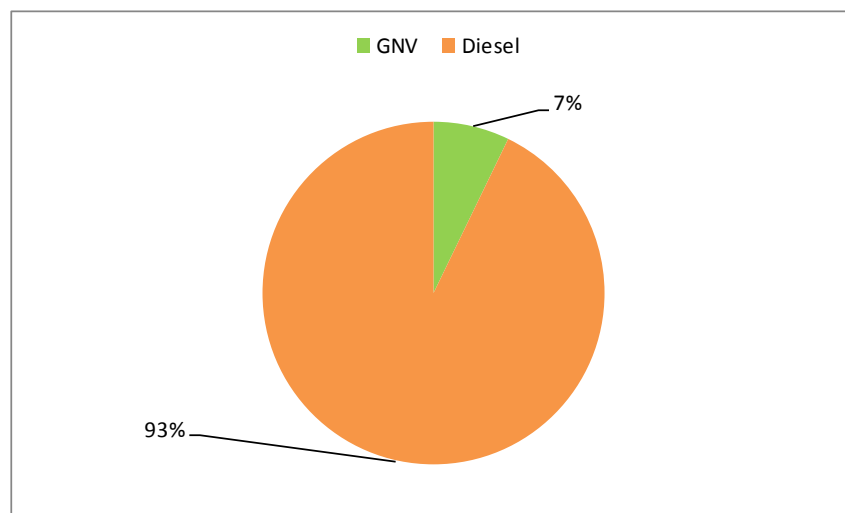


Fuente: Municipalidad Metropolitana de Lima

Elaboración Propia

Por otro lado, en el gráfico 3 se observa que el 93% del transporte público que transita por Lima Cuadrada consume Diesel.

**Gráfico 3. Tipos de combustible consumidos por el Transporte Público**

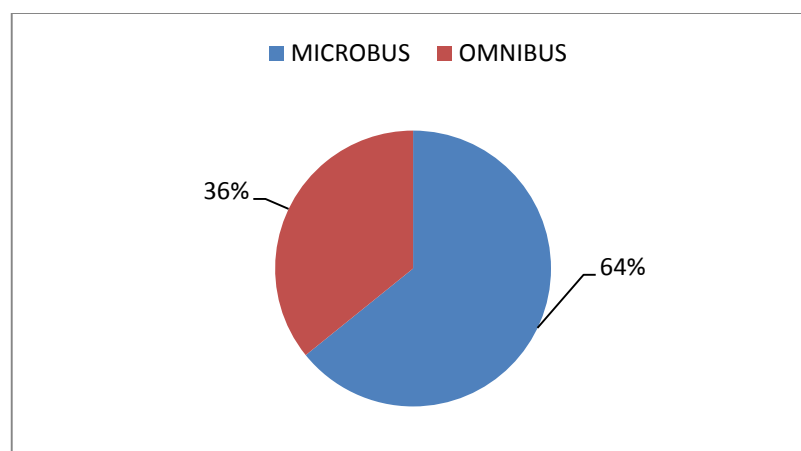


*Fuente: Municipalidad Metropolitana de Lima.*

*Elaboración Propia.*

El transporte público de Lima Cuadrada se encuentra conformado por ómnibus y microbuses distribuidos según se muestra en el Gráfico 4.

**Gráfico 4. Distribución de la Flota vehicular de transporte público según tipo de Vehículo autorizada por la Municipalidad de Lima**



*Fuente: Municipalidad Metropolitana de Lima*

*Elaboración propia*

### 1.1.3 Aforo vehicular

El aforo vehicular realizado permitió elaborar un perfil de la cuantificación de los vehículos del sector privado de las avenidas Abancay y Tacna, cuyo resumen se muestra en las Tablas 1 y 2, respectivamente.

**Tabla 1. Volumen vehicular en hora punta en ambos sentidos de circulación de un día laborable en la Avenida Abancay (Año 2014)**

	Vehículos/hora
Autos	3200
Motos	134
Transporte Público	340
Volumen Hora/Punta	3674

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 2. Volumen vehicular en hora punta en ambos sentidos de circulación de un día laborable en la Avenida Tacna (Año 2014)**

	Vehículos/hora
Autos	1794
Motos	126
Transporte Público	504
Volumen Hora/Punta	2424

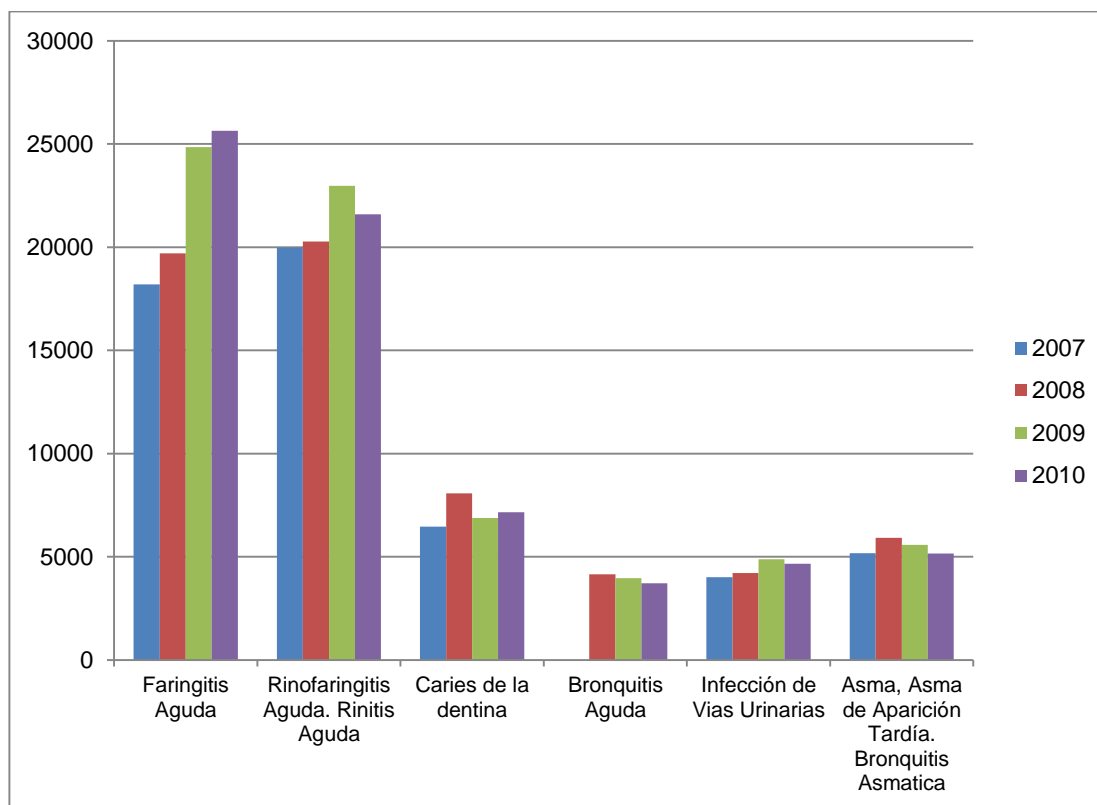
*Fuente: Elaboración Propia*

### 1.1.4 Salud Pública

La información de primeras causas de morbilidad de la Dirección de Salud V Lima-Ciudad, órgano desconcentrado del Ministerio de Salud (MINSA), solicitada en el año 2012, corresponde a data disponible al periodo 2007-2010. Esta fuente revela que las enfermedades más recurrentes en la población del ámbito de estudio son la faringitis, rinofaringitis y rinitis aguda, dicho cuadro también es conocido como infecciones respiratorias agudas (IRA), y están directamente relacionadas con los efectos de la contaminación del aire.

En el gráfico 5 se aprecia que las enfermedades del tipo respiratorias tienen una notable incidencia en comparación con otras.

**Gráfico 5. Primeras Causas de Morbilidad, según procedencia del paciente (Lima)**



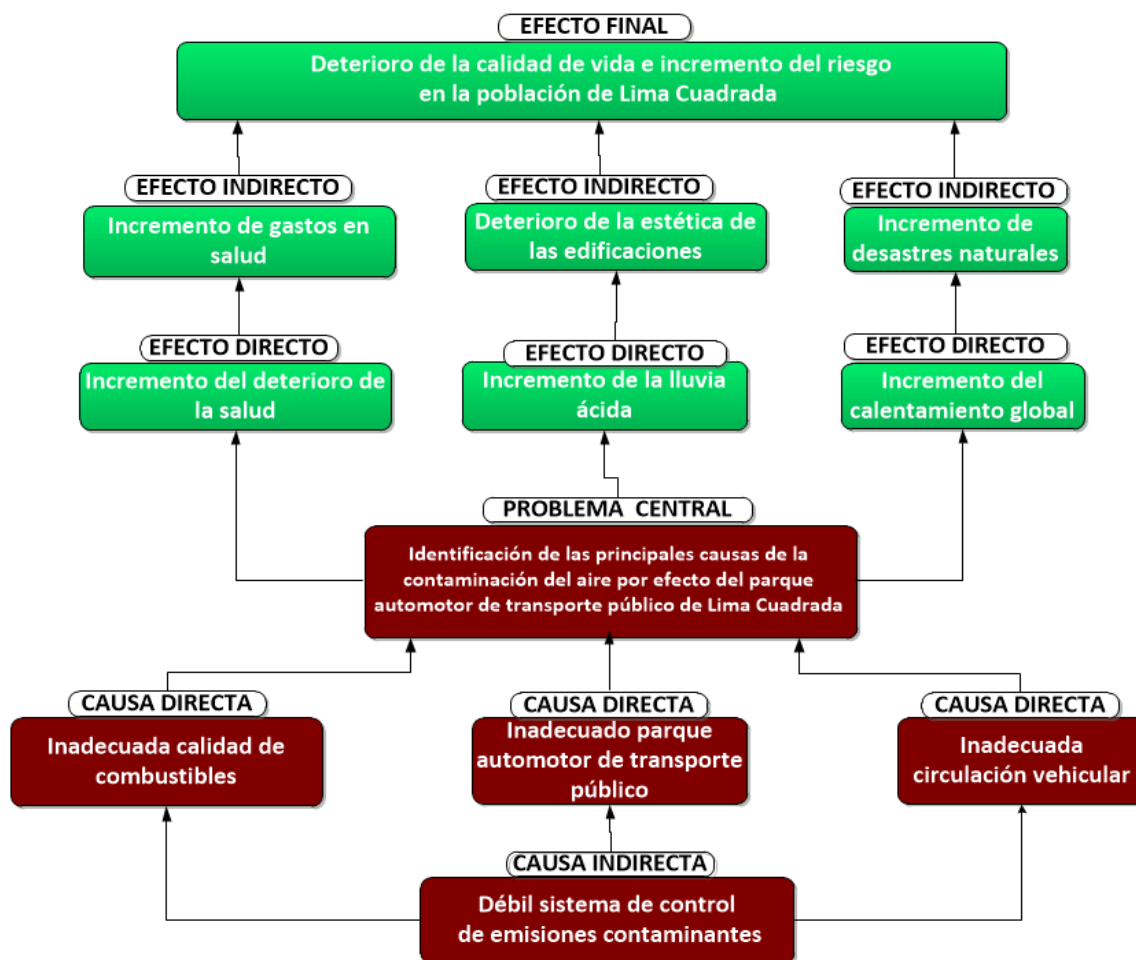
Fuente: DISA V Lima-Ciudad (MINSa)

Elaboración propia

## 1.2 Árbol de Problemas: Causas y Efectos

A continuación (Ver imagen 4) se muestra el árbol de problemas con los elementos que lo componen: las causas y los efectos del mismo. Luego de definir el problema central, se han identificado los efectos que existirían si no se propone solución al problema o en todo caso si el problema subsistiera.

Imagen 4. Árbol de Problemas: Causas y Efectos

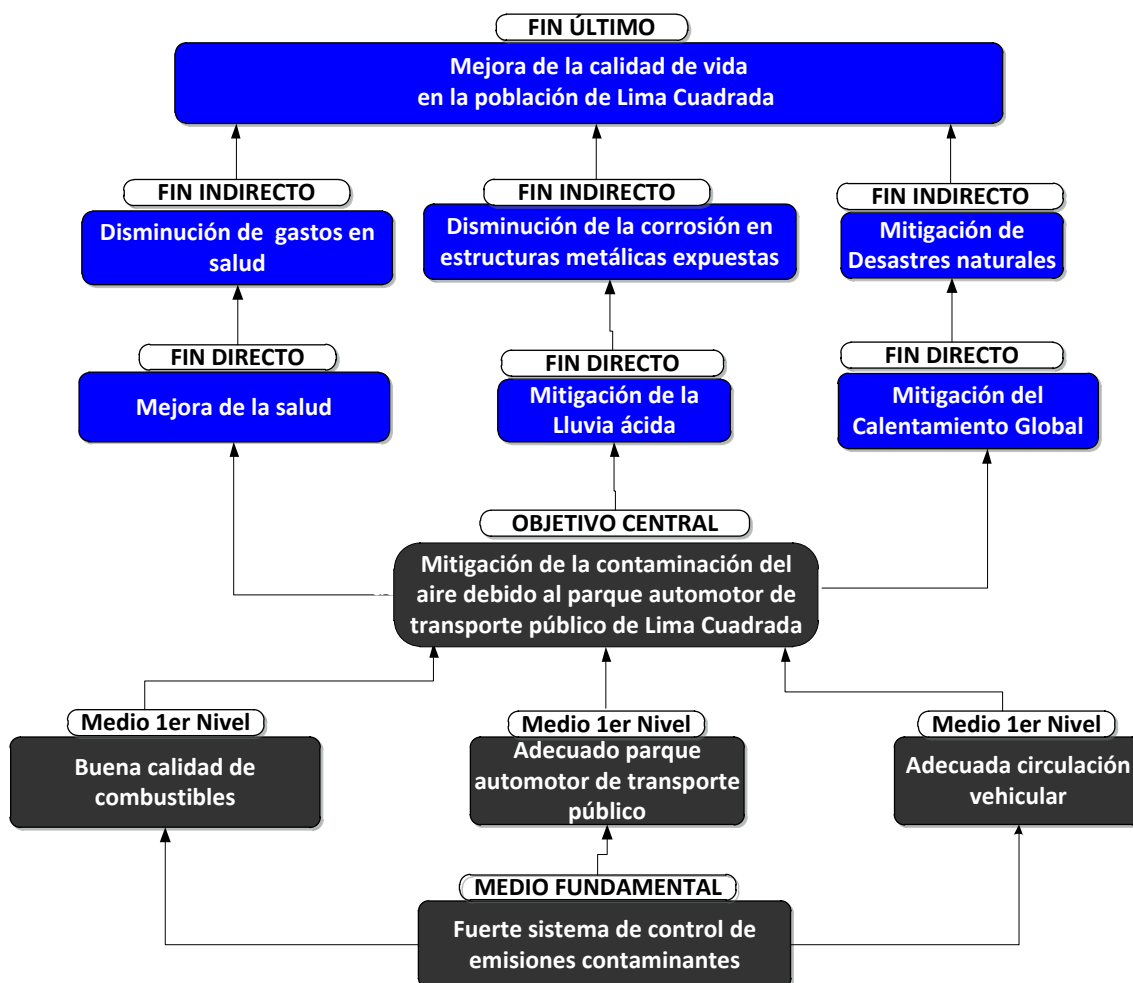


Fuente: Elaboración Propia

### 1.3 Árbol de Objetivos: Medios y Fines

Sobre la base del árbol de causas y efectos se ha elaborado el Árbol de Medios y Fines (ver imagen 5), el cual muestra la solución positiva que se produce cuando se soluciona el problema central:

Imagen 5. Árbol de Objetivos: Medios y Fines



Fuente: Elaboración Propia

#### 1.4 Planteamiento del Problema

El problema principal se ha identificado a partir de la información y evaluación del árbol de causas y problemas; y se plantea a través de la siguiente pregunta:

¿De qué manera la identificación de las principales causas de la contaminación del aire permite elaborar propuestas para su mitigación por efecto del parque automotor de transporte público de Lima Cuadrada?

## **1.5 Justificación**

La presente tesis busca determinar las principales causas de la contaminación del aire y elaborar propuestas para su mitigación por efecto del parque automotor de transporte público de Lima Cuadrada.

Asimismo, la presente investigación tiene relevancia para la sociedad, es decir que con el aporte de propuestas para la mejora de la calidad del aire también se busca mejorar la calidad de vida de la población, generando a su vez un impacto social positivo.

Con la finalidad de consolidar lo que se evidencia respecto a la situación actual del transporte público de Lima Cuadrada y de dar mayor connotación a la propuesta se aplica el “*software IVE*”, el cual permite la elaboración de un inventario con data confiable del transporte público que circula por Lima Cuadrada, solicitada a la Municipalidad Metropolitana de Lima. Al mismo tiempo, este inventario permite plasmar escenarios con la finalidad de presentar las propuestas.

Por último, pretende incentivar el desarrollo de futuros trabajos con la aplicación del programa IVE e impulsar la elaboración de inventarios de emisiones de fuentes móviles en otras ciudades de nuestro país.

## **1.6 Objetivos**

### **Objetivo General**

Determinar las principales causas de la contaminación del aire y elaborar propuestas para su mitigación por efecto del parque automotor de transporte público de Lima Cuadrada.

### **Objetivos Específicos**

1. Establecer el estado situacional del parque automotor de transporte público de Lima Cuadrada.
2. Identificar el efecto de la inadecuada calidad de los combustibles.



3. Identificar la relación de la contaminación del aire con la congestión vehicular.

### 1.7 Formulación de la Hipótesis

#### Hipótesis Principal:

La identificación de las principales causas de la contaminación del aire permite la elaboración de las propuestas para su mitigación por efecto del parque automotor de transporte público de Lima Cuadrada.

#### Variables:

Variable Independiente: Principales causas de la contaminación del aire.

Variable Dependiente: Las propuestas para su mitigación.

### 1.8 Matriz de Consistencia

**Tabla 3. Matriz de Consistencia**

	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>TÍTULO</b>	Principales causas de la contaminación del aire y propuestas para su mitigación por efecto del parque automotor de transporte público de Lima Cuadrada.
<b>PROBLEMA PRINCIPAL</b>	¿De qué manera la identificación de las principales causas de la contaminación del aire permite elaborar propuestas para su mitigación por efecto del parque automotor de transporte público de Lima Cuadrada?
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	Determinar las principales causas de la contaminación del aire y elaborar propuestas para su mitigación por efecto del parque automotor de transporte público de Lima Cuadrada.
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	1. Establecer el estado situacional del parque automotor de transporte público de Lima Cuadrada.

	<p>2. Identificar el efecto de la inadecuada calidad de los combustibles.</p> <p>3. Identificar la relación de la contaminación del aire con la congestión vehicular.</p>
<b>HIPÓTESIS PRINCIPAL</b>	La identificación de las principales causas de la contaminación del aire permite la elaboración de las propuestas para su mitigación por efecto del parque automotor de transporte público de Lima Cuadrada.
<b>VARIABLE DEPENDIENTE E INDEPENDIENTE DE LA HIPÓTESIS</b>	<p>Variable Independiente: Principales causas de la contaminación del aire</p> <p>Variable Dependiente: Las propuestas para su mitigación</p>

*Fuente: Elaboración propia*

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1 Definición de Aire

El aire puro es una mezcla gaseosa compuesta por un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y un 1% de diferentes compuestos tales como el argón, el dióxido de carbón, y el ozono. Mientras que la contaminación atmosférica es cualquier cambio en el equilibrio de estos componentes, lo cual altera las propiedades físicas y químicas del aire.<sup>2</sup>

Otra definición señala que el aire es un bien libre que se encuentra disponible en cantidades prácticamente ilimitadas, de forma que resulta suficiente para satisfacer las necesidades de la población. No es un bien escaso y, por lo tanto, no se trata de un bien económico.<sup>3</sup>

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define al aire puro como “*la mezcla de gases, vapor de agua y partículas sólidas y líquidas cuyo tamaño varía desde unos cuantos nanómetros (la millonésima parte de un milímetro) hasta 0,5 milímetros,*”<sup>4</sup> los cuales en su conjunto envuelven al globo terrestre.

### 2.2 La Contaminación del Aire

La contaminación del aire es uno de los riesgos graves en los países industrializados, ya que afecta negativamente a la salud humana y produce daños a los cultivos y los ecosistemas biofísicos. Las causas del problema se sitúan en el uso masivo de automóviles, las calefacciones de carbón, las industrias, las centrales térmicas, las incineradoras de basura y los aviones, entre las más destacables.<sup>5</sup>

---

<sup>2</sup> LÓPEZ, Gustavo. El dióxido de nitrógeno como contaminante. El Cid Editor. 2009. Pág. 4

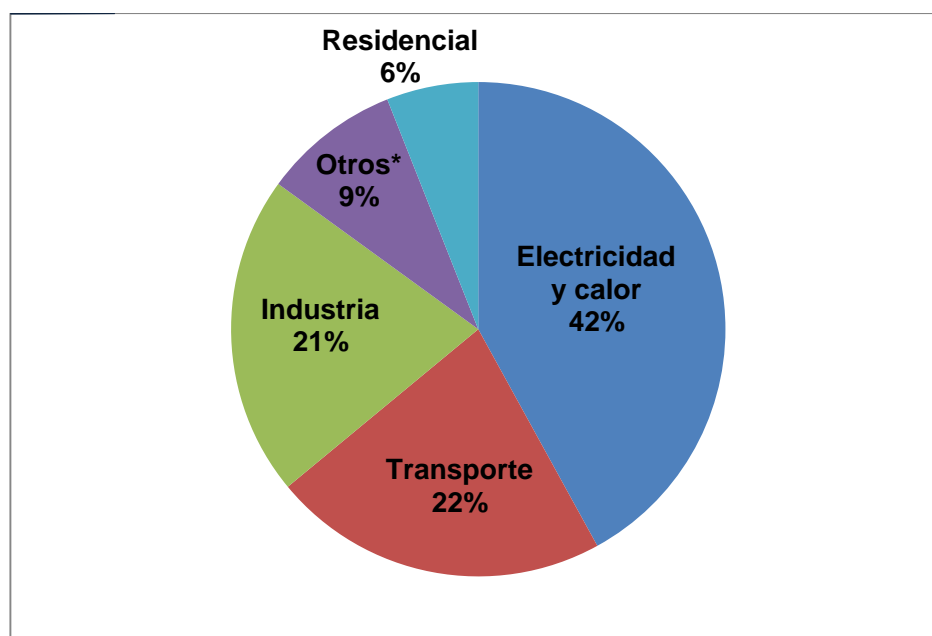
<sup>3</sup> BEGOÑA, Beatriz. Curso Práctico de Microeconomía. Delta Publicaciones. Edición 2006. Pág. 15

<sup>4</sup> ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD Y ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, Guías para la calidad del aire, Lima, 2004, pág. 5, en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/fulltext/guiasaire.pdf>

<sup>5</sup> PARDO, Mercedes. El medioambiente como narrativa global: definición de problemas medioambientales y retos para las políticas públicas. Pág. 12

Según el estudio: “CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion Highlights” (Edición 2013) publicado por la IEA (International Energy Agency), dos sectores generaron dos tercios de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> en el año 2011: la generación de la electricidad y calor con 42%; y el sector transporte con 22%. El 9% correspondiente a otros incluye servicios públicos/comerciales, agricultura, pesca, industrias de energía excepto las de electricidad y calor (Ver gráfico 6).

**Gráfico 6. Emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial por sector en el 2011**



Fuente: IEA (International Energy Agency)

Otro estudio también señala que el sector que más contribuye a las emisiones por consumo de combustibles es el sector transporte siendo aproximadamente un 40% de las emisiones totales correspondientes, seguido por los sectores industria, residencial-comercial e industrias de la transformación y conversión con 13 % de participación cada uno.<sup>6</sup>

La contaminación del aire puede ser ocasionada por fuentes naturales (emisiones volcánicas, incendios forestales) o antropogénicas (originadas por la actividad

<sup>6</sup> Inventario Nacional Integrado de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Perú en el año 2000. Informe Preparado para el Ministerio del Ambiente en el marco del proyecto “Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”

humana). La emisión de contaminantes originados por la actividad humana se produce en dos tipos: las fuentes fijas (procesos industriales, centrales térmicas, incineradores, etc.) y las fuentes móviles (vehículos automotores).<sup>7</sup>

### **2.2.1 Los contaminantes del aire**

Los contaminantes del aire pueden ser *primarios* o *secundarios*. Un contaminante primario es aquél que se emite a la atmósfera directamente de la fuente y mantiene la misma forma química, como por ejemplo, la ceniza de la quema de residuos sólidos. Un contaminante secundario es aquel que experimenta un cambio químico cuando llega a la atmósfera. Un ejemplo es el ozono que surge de los vapores orgánicos y óxidos de nitrógeno que emite una estación de gasolina o el escape de los automóviles<sup>8</sup>.

Los contaminantes del aire también se han clasificado como *contaminantes criterio* y *contaminantes no criterio*.

Los contaminantes criterio son el monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SOx), óxidos de nitrógeno (NOx), material particulado (PM) y ozono; éstos han sido estudiados extensivamente sobre sus fuentes de emisión, niveles en el ambiente y han sido identificados como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Además se han utilizado como indicadores durante varias décadas, estimando que, de estar dentro de valores aceptables, el resto de contaminantes no debería aparecer en exceso.

### **2.3 Procesos de Emisión de Vehículos Automotores**

Las emisiones de vehículos automotores están integradas por un gran número de contaminantes que provienen de muchos procesos diferentes, las más comunes son las emisiones evaporativas y las provenientes del tubo de escape.

---

<sup>7</sup> "Control de Gases Contaminantes de Vehículos Motorizados". PROGRAMA APGEP-SENREM CONVENIO USAID-CONAM. 2002. Elaborado por SENATI. Pág. 22

<sup>8</sup> Predicción y Evaluación de Impactos Ambientales sobre la atmósfera 2. Autores: Darío Sbarato, José Ortega. Colección de Salud Ambiental. Universidad Nacional de Córdoba. 2007.

### 2.3.1 Emisiones Evaporativas<sup>9</sup>

Las emisiones causadas por la evaporación de combustible pueden ocurrir cuando el vehículo está estacionado y también cuando está en circulación; su magnitud depende de las características del vehículo, factores geográficos y meteorológicos, como la altura y la temperatura ambiente y, principalmente, de la presión de vapor del combustible. Algunas de ellas son las siguientes:

- Emisiones evaporativas del motor caliente: Son aquellas que se presentan debido a la volatilización del combustible en el sistema de alimentación, después de que el motor se ha apagado. El calor residual del motor volatiliza el combustible.
- Emisiones evaporativas de operación: Son las emisiones ocasionadas por las fugas de combustible, como líquido o vapor, que se presentan mientras el motor está en funcionamiento.
- Emisiones evaporativas durante la recarga de combustible: Son las emisiones evaporativas desplazadas del tanque de combustible del vehículo durante la recarga. Pueden ocurrir mientras el vehículo está en reposo y en puntos conocidos, como las gasolineras. La recarga de combustible se maneja típicamente como fuente de área.
- Emisiones diurnas: Son las emisiones del tanque de combustible del vehículo debidas a una mayor temperatura del combustible y a la presión de vapor del mismo. Se deben al incremento de la temperatura ambiente ocasionado por el sistema de escape del vehículo, o por el calor reflejado en la superficie del camino.
- Emisiones evaporativas en reposo: Son emisiones evaporativas diferentes a las anteriores, que se presentan cuando el motor no está en funcionamiento. Las pérdidas en reposo se deben principalmente a fugas de combustible y de la permeabilidad, o fugas de los conductos de combustible.

---

<sup>9</sup> Manual de Inventario de Fuentes Móviles. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. Fecha de Consulta: 15 agosto de 2013. <[http://www.minambiente.gov.co/documentos/4170\\_051009\\_fuentes\\_moviles.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/4170_051009_fuentes_moviles.pdf)>

### **2.3.2 Emisiones por el tubo de escape<sup>10</sup>**

Las emisiones por el tubo de escape son producto de la quema del combustible (ya sea gasolina, diesel u otro como Gas licuado de petróleo o biocombustibles) y comprenden a varios contaminantes como: el monóxido y dióxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y las partículas. Además, ciertos contaminantes presentes en el combustible como el azufre y, hasta hace algunos años, el plomo se liberan al ambiente a través del proceso de combustión. Estas emisiones del tubo de escape dependen de las características del vehículo, su tecnología y su sistema de control de emisiones.

El estado de mantenimiento del vehículo y los factores operativos, tanto como la velocidad de circulación, la frecuencia e intensidad de las aceleraciones (paradas y arranques) y las características del combustible (como su contenido de azufre) juegan un papel determinante en las emisiones por el escape.

### **2.4 Contaminantes emitidos por Fuentes Móviles<sup>11</sup>**

La contaminación vehicular se distingue de otras fuentes de contaminación en que las emisiones de contaminantes se liberan en la inmediata cercanía de las personas expuestas. Las áreas urbanas y sus alrededores son más seriamente afectadas por la contaminación vehicular, con impactos en la salud humana, en la visibilidad, y daños ambientales y sobre diferentes materiales. Además de los impactos locales, el transporte es una de las fuentes más importantes y crecientes de gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global.

A continuación se hace una breve descripción de los contaminantes principales debido a los vehículos automotores:

---

<sup>10</sup> Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Págs.20-22. 2007

<sup>11</sup> Gasolina y diesel de bajo azufre: la clave para disminuir las emisiones vehiculares. Versión final en español, mayo de 2003.

## **Monóxido de Carbono (CO)**

El monóxido de carbono es un producto de la combustión incompleta que ocurre cuando no existe suficiente oxígeno para completar la oxidación del carbono de los combustibles y formar bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Incluso si existe suficiente oxígeno, el CO se formará en las regiones ricas en combustible de la flama (regiones donde no existe suficiente oxígeno para permitir una combustión completa). A las temperaturas de combustión, el CO normalmente se oxidará hasta  $\text{CO}_2$  en presencia de oxígeno, sin embargo el CO puede mantenerse en concentraciones muy elevadas si los gases de escape se enfrían rápidamente, como ocurre en los vehículos, a pesar de la disponibilidad de oxígeno. A temperatura ambiente, el mecanismo de pérdida principal es la oxidación por radicales hidroxilo (OH), a  $\text{CO}_2$ . El ciclo de vida del CO es de varias semanas, lo suficientemente largo para permitir que el gas escape de las cuencas urbanas y se mezcle en la atmósfera.

## **Hidrocarburos (HC)**

Esta es una clase de contaminantes que incluye miles de especies. Los HC son también conocidos como compuestos orgánicos volátiles (*volatile organic compounds*, VOC). Los vehículos son una fuente de emisiones evaporativas de HC y de emisiones del escape que resultan de la combustión incompleta. Las emisiones evaporativas de HC ocurren cuando los vapores escapan durante la recarga de combustible o de componentes de los vehículos no sellados herméticamente. Algunas especies de hidrocarburos también provienen de la combustión incompleta, que ocurre en las regiones de mezcla rica en la flama, o bien cuando la flama está limitada por bajas temperaturas en las paredes de los pistones. Tal como ocurre con el CO, las emisiones de HC pueden ser reducidas en forma importante en condiciones de operación de mezcla pobre, (cuando un exceso de oxígeno está disponible).

Los hidrocarburos son problemáticos, tanto porque son precursores del ozono a nivel del suelo, como porque algunas especies de hidrocarburos por sí mismas son tóxicas o carcinogénicas. Los principales mecanismos de extinción de hidrocarburos —fotólisis con la luz del sol y la reacción con OH— conducen a la generación de ozono mediante reacciones con los óxidos de nitrógeno.



## **Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)**

El monóxido de nitrógeno (NO), es la principal forma de emisiones de NO<sub>x</sub> del vehículo, y se oxida rápidamente a bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), que es el principal precursor de la formación de ozono en la atmósfera. En los vehículos, los NO<sub>x</sub> se forman principalmente en un proceso térmico que se incrementa de acuerdo a la temperatura de combustión. A temperaturas más elevadas y en la presencia de oxígeno, el nitrógeno (N<sub>2</sub>) del aire reacciona con radicales de oxígeno, formando NO. Al contrario del CO y de los HC, la formación de NO<sub>x</sub> es favorecida durante condiciones de mezcla pobre. La temperatura de combustión, de cualquier forma, se reduce con el incremento de la relación aire combustible, resultando en una reducción en los niveles de NO<sub>x</sub> que se forma en los motores que funcionan con mezclas pobres, como es el caso de los motores diesel.

## **Ozono**

El ozono es un gas incoloro de olor algo fresco que posee un gran poder oxidante. Constituye el 10% de todo el ozono atmosférico y debido a los procesos químicos que transcurren en áreas urbanas industrializadas, los niveles de ozono pueden aumentar significativamente, alcanzándose niveles a partir de los cuales se pueden originar efectos sobre los seres vivos y los materiales.

Se forma en la tropósfera por acción de la luz solar sobre los gases considerados como sus precursores, siendo los más importantes los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), compuestos orgánicos volátiles (COV), el monóxido de carbono (CO) y el metano (CH<sub>4</sub>).

Es por tanto un contaminante secundario, ya que no es emitido directamente a la atmósfera por ninguna fuente y, también, un contaminante fotoquímico, ya que se forma con la intervención de la luz solar.

Los niveles de ozono varían a lo largo del día, dependiendo de la intensidad del tráfico, de la actividad industrial y de la intensidad de la luz solar. Normalmente en los países mediterráneos es en verano (altas temperaturas, cielos despejados, elevada insolación

y vientos bajos) cuando se dan condiciones meteorológicas favorables para la formación de ozono.

### **Dióxido de Azufre**

Los óxidos de azufre, emitidos principalmente como dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), se forman por la oxidación de azufre del combustible durante la combustión. Normalmente cerca del 100% del contenido de azufre en el combustible se emitirá como  $\text{SO}_2$ .

Una fracción del  $\text{SO}_2$  en la corriente de escape del diesel puede ser oxidada para formar trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ). El  $\text{SO}_3$  reacciona fácilmente con el agua para formar ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y sulfatos en forma de partículas. En la corriente de escape del diesel, los aerosoles de sulfato son iniciadores de la formación de partículas, proporcionando un núcleo para que otros gases se condensen.

El  $\text{SO}_2$  también puede ser oxidado en la atmósfera para formar  $\text{SO}_3$  principalmente por reacción con otros componentes de una atmósfera urbana contaminada.

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

El término partículas es generalmente aplicado a partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire. Las partículas incluyen cualquier cosa, desde una mezcla compleja de ácidos e hidrocarburos pesados hasta granos de polvo.

Las  $\text{PM}_{2.5}$  incluyen todas las partículas de menos de  $2.5 \mu\text{m}$  de diámetro (partículas finas, ultrafinas y nanopartículas). Estas partículas pueden formarse en la atmósfera a través de la condensación y pueden crecer en tamaño con una mayor condensación o por colisiones con otras partículas existentes. Partículas de este rango de tamaño pueden también ser emitidas como contaminantes primarios, ya sea como polvos formados por la combustión incompleta o por las partículas de ácidos que se forman en la corriente de escape. La persistencia atmosférica de las  $\text{PM}_{2.5}$  puede variar de sólo unos pocos días a varias semanas.

Las  $PM_{10}$  incluyen todas las partículas con un diámetro menor a 10 micrómetros. Las partículas gruesas son formadas principalmente por procesos mecánicos de generación, incluyendo fuentes como partículas derivadas de las llantas de los automóviles y el polvo que arrastra el viento. Debido a su sedimentación, el tiempo de vida atmosférica de una partícula relativamente grande es de menos de un día.

Las partículas derivadas del diesel (*Diesel particulate matter, DPM*) caen dentro del rango de las  $PM_{2.5}$  y su fuente primaria es el hollín del escape, partículas sólidas de carbón formadas durante una combustión de mezcla rica que se combinan con compuestos orgánicos volátiles y de azufre.

Los vehículos a diesel funcionan con mezclas pobres pero también existen regiones de mezcla rica en el interior de las zonas de combustión, lo cual da como resultado la formación de hollín. Una pequeña proporción del combustible y de los lubricantes escapa a la oxidación y terminan como compuestos orgánicos en la corriente de escape; esto es lo que se conoce como fracción orgánica soluble, *soluble organic fraction (SOF)*. El azufre en el combustible es en su mayor parte oxidado a  $SO_2$ , aunque una pequeña proporción es oxidada a  $SO_3$ , que después se convierte en ácido sulfúrico y se condensa para formar nanopartículas de sulfato. Conforme la corriente de escape se enfría, el hollín y los sulfatos se convierten en núcleos para la condensación y la absorción de otros gases de HC.

### **Gases de Efecto Invernadero (GEI)**

Parte de la radiación solar se absorbe en la capa de ozono en la atmósfera superior, pero buena parte de ella alcanza la superficie de la tierra. La radiación solar es balanceada por la radiación de calor que la tierra emite al espacio. Las concentraciones de gases de efecto invernadero que absorben la radiación que emite la tierra se han incrementado, debido principalmente a las actividades humanas, reduciendo la eficiencia con la que la tierra emite radiación al espacio. Una mayor proporción de la radiación terrestre de calor está siendo absorbida por estos gases en la atmósfera, lo que resulta en el calentamiento de la baja atmósfera y de la superficie de la tierra. El dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el óxido nitroso ( $N_2O$ ), y el metano ( $CH_4$ ), son

componentes naturales de la atmósfera que se han incrementado significativamente a lo largo del último siglo debido a las actividades humanas.

El dióxido de carbono es el principal gas de efecto invernadero responsable del cambio climático. El CO<sub>2</sub> se forma por la combustión completa en presencia de oxígeno suficiente para oxidar completamente el carbono de los combustibles. El transporte es una fuente significativa y creciente de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, representando poco más del 20% de las emisiones antropogénicas a nivel global.

El metano, con sólo la mitad del porcentaje de la concentración del CO<sub>2</sub> pero con 62 veces más del potencial del calentamiento en el corto plazo, es considerado generalmente como el segundo en importancia entre los gases de invernadero.

El metano es uno de los HC menos reactivos entre los emitidos por los vehículos, y no tiene un papel importante en la formación de ozono.

## **2.5 Incidencia de las Emisiones de las Fuentes Móviles**

La contaminación del aire urbano, generada en un 90 por ciento por los vehículos automotores, provoca la muerte de un estimado de 800,000 personas cada año.<sup>12</sup>

En efecto, una fuente importante de contaminación está constituida por el sector automotor y esta contaminación está ligada a múltiples factores tales como el tamaño del parque automotor, su antigüedad, carencia de infraestructura adecuada, precio y calidad de los combustibles, mantenimiento de la flota, deficiencias en transporte público y deficiencia de instrumentos tributarios y de control. Los problemas ligados al transporte en las grandes ciudades, tales como el congestionamiento vial, generan altas concentraciones de CO, SO<sub>2</sub> y partículas.

---

<sup>12</sup> Transporte seguro, limpio y accesible en pos del desarrollo. Estrategia de negocios del Grupo del Banco Mundial relativa al transporte para 2008 – 2012. Elaborado por el Consejo Directivo del Sector Transporte del Grupo del Banco Mundial. Pág. 3

## 2.6 Causas que agudizan las Emisiones Vehiculares

### 2.6.1 Calidad de Combustible

Según fuentes bibliográficas, la calidad del combustible está referida al mayor o menor grado de contaminación del aire que generan los diferentes tipos de combustibles.

En la tabla 4, se resume los combustibles que actualmente se consumen en Lima.

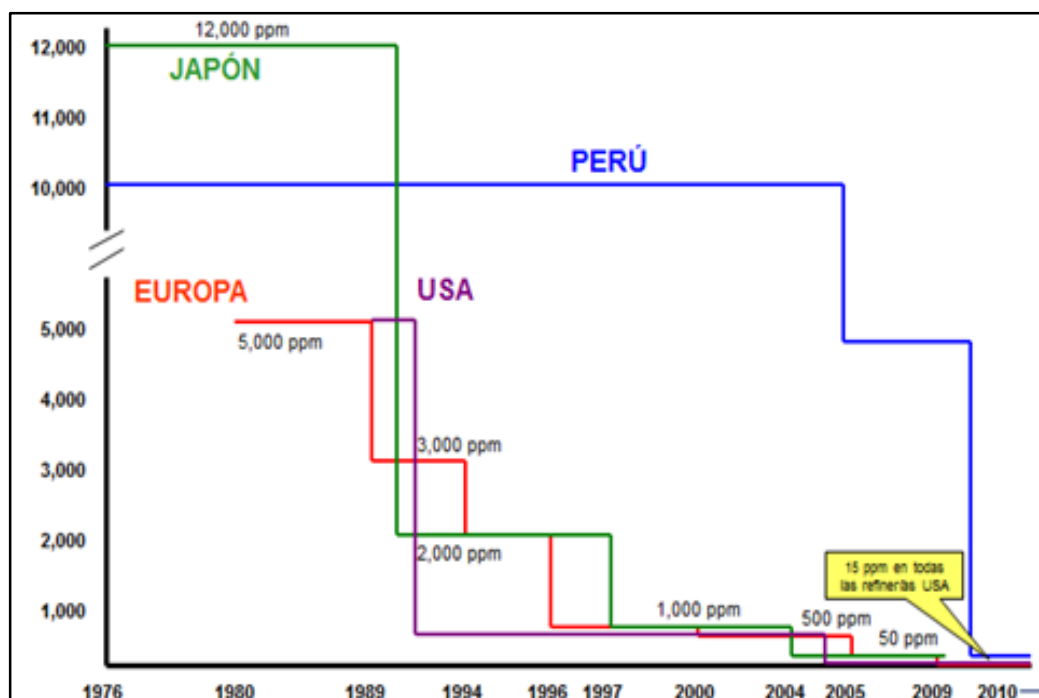
**Tabla 4 . Tipos de Combustible**

GNV (Gas Natural Vehicular)
GLP (Gas Licuado de Petróleo)
Gasolina 92.2% Gasolina + 7.8% alcohol carburante
Diesel B5 S-50 95% Diesel 2 con 50 ppm de Azufre + 5% biodiesel (B100) <b>(D.S. N° 013-2005-EM)</b>

*Fuente: Ministerio de Energía y Minas*

Con respecto al diesel, el cual es el combustible más utilizado por el transporte público, en el gráfico 7 se puede apreciar el programa de reducción de la cantidad de azufre en nuestro país comparado con otros países. Sin embargo, cabe mencionar que el diesel B5 S-50 solo se comercializa en los departamentos de Lima, Arequipa, Cusco, Puno, Madre de Dios y la provincia constitucional del Callao. De otro lado, en los anexos 1 y 2 se presenta las especificaciones técnicas vigentes del diesel B5 S-50 y biodiesel (B100), respectivamente.

Gráfico 7. Reducción de Azufre en el Diesel



Fuente: Petroperú – Presentación de Reducción de azufre en el Diesel

### 2.6.2 La congestión Vehicular<sup>13</sup>

La congestión vehicular provoca los siguientes costos: pérdida de horas-hombre por el aumento del tiempo de viaje; uso ineficiente de combustibles; pérdidas por muertes prematuras, gastos hospitalarios y de salud; pérdida de días laborables por enfermedades atribuibles a la contaminación; pérdida de bienestar y calidad de vida; mayores costos de mantenimiento o pérdida del patrimonio monumental de la ciudad; desvalorización de la propiedad inmueble pública y privada a causa de la contaminación del aire y el ruido, entre otros.

### 2.6.3 Parque automotor obsoleto

Los vehículos antiguos emiten más contaminantes que los vehículos nuevos. El parque automotor está compuesto por una gran cantidad de vehículos con tecnología “antigua”

<sup>13</sup> Informe Defensorial N° 137. El transporte urbano en Lima Metropolitana: Un desafío en defensa de la vida. Defensoría del Pueblo. 2008.

de control de emisiones y estos a la vez son operados con un sistema de inspección y mantenimiento inadecuado<sup>14</sup>.

De acuerdo con el Plan Integral de Saneamiento Atmosférico (PISA), las unidades vehiculares son responsables de aproximadamente el 90% de la contaminación del aire, mientras que el 10% restante se explica por las fuentes estacionarias (PISA 2002).

El parque automotor puede agravar los problemas en el futuro debido a que este sector en Lima Metropolitana crece, en promedio, 7% cada año. Además, el mantenimiento de los vehículos no es el adecuado y hacen falta las revisiones técnicas<sup>15</sup>.

## **2.7 Efectos de la contaminación del aire**

### **2.7.1 Efectos en la Salud**

Los impactos en la calidad del aire derivados de la integración y modernización del transporte público, consisten principalmente en emisiones contaminantes que pueden afectar la salud humana, así como dañar la calidad del suelo, agua, vegetación y la vida animal. Estos tipos de impactos son notables en ciudades con gran volumen de vehículos y operaciones.<sup>16</sup>

Los contaminantes del aire tienen distinta capacidad para producir daño sobre la salud humana, dependiendo de las propiedades físicas y químicas de sus componentes. La contaminación es una externalidad negativa que implica una pérdida de bienestar. En este caso, la externalidad se aborda desde la morbilidad<sup>17</sup>.

---

<sup>14</sup> Informe por ARPEL (Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe): Tecnologías Vehiculares y Emisiones. Junio 1999.

<sup>15</sup> Revista Institucional del CIES N° 66. Artículo: Impacto económico en la salud por contaminación del aire en Lima Metropolitana. Juan José Miranda. IEP (Instituto de Estudios Peruanos). Páginas 37-43.

<sup>16</sup> Proyecto de Integración y Modernización del Transporte Público en Guadalajara, Jalisco. Sección Análisis Ambiental. 2006. Págs. 10-12

<sup>17</sup> La Caña de azúcar: ¿Una amarga externalidad?. Desarrollo y Sociedad. Págs. 117-164. Autora: Eleonora Dávalos Álvarez. Año 2007.

Cabe resaltar que en octubre del año 2013, la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés), dependiente de la Organización Mundial de la Salud (OMS) decidió oficializar la clasificación de la contaminación del aire como cancerígena.

De otro lado, en la ciudad de Lima el 70 % de la contaminación del aire es causada por el parque automotor, mientras que uno de cada dos policías de tránsito sufre enfermedades respiratorias por contaminación ambiental<sup>18</sup>.

De acuerdo con la Norma de Calidad del Aire o Niveles de Inmisión, elaborada por la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales Subsecretaría de Gestión Ambiental de República Dominicana (2001), los efectos de los principales contaminantes del aire son:

#### *Material Particulado*

Produce irritación en las vías respiratorias. Su acumulación en los pulmones origina enfermedades como la silicosis y la asbestosis. Agravan el asma y las enfermedades cardiovasculares.

Investigaciones epidemiológicas han estado orientadas al estudio de los efectos del material particulado (particulate matter – PM), el cual se reconoce actualmente como el principal agente de morbilidad y mortalidad inmerso en la contaminación atmosférica.

El material particulado está formado por una mezcla de partículas gruesas (mayores de 2.5 µm de diámetro) y material más pequeño llamado partículas finas (menores de 2.5 µm de diámetro).

Los análisis toxicológicos y fisiológicos indican que las partículas finas son las que tienen un mayor efecto nocivo en la salud humana, dada su capacidad de penetrar y alojarse en los alvéolos pulmonares. Además, las partículas finas son más tóxicas por cuanto incluyen sulfatos, nitratos, ácidos, metales, partículas de carbono y otros

---

<sup>18</sup> Control de Gases Contaminantes de Vehículos motorizados. Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial – SENATI. 2002. Págs. 23-27



químicos, pueden permanecer suspendidas por mayores intervalos de tiempo y penetrar más fácilmente en los ambientes interiores.<sup>19</sup>

#### *Monóxido de Carbono*

Produce la carboxihemoglobina que afecta al sistema nervioso central provocando cambios funcionales cardíacos y pulmonares, dolor de cabeza, fatiga, somnolencia, fallos respiratorios y hasta la muerte.

#### *Dióxido de Nitrógeno*

Produce irritación a los pulmones y daña las células que revisten los pulmones. No se presentan síntomas a menos que se trate de concentraciones muy altas; el mayor daño aparece de 5 a 72 horas después de la exposición causando edema pulmonar. Algunos de los síntomas son: descarga nasal, dolor de cabeza, mareo y dificultad al respirar.

#### *Dióxido de Azufre*

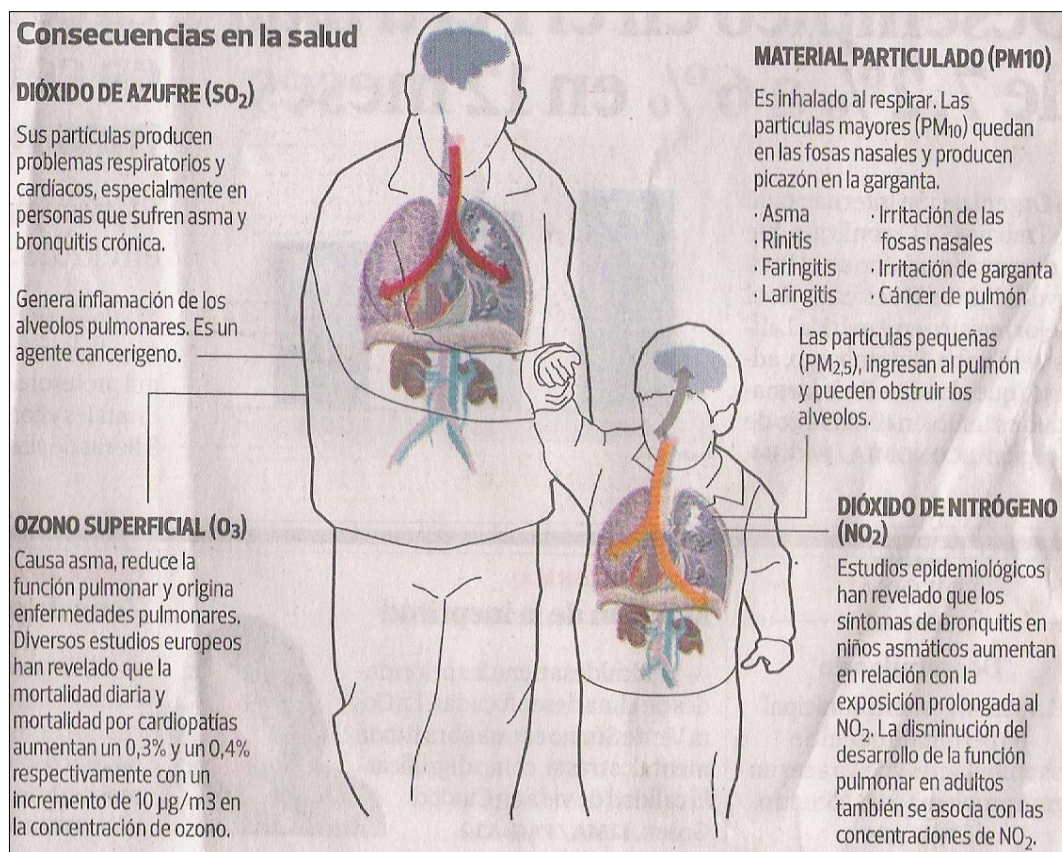
La exposición al SO<sub>2</sub> causa constricción de los conductos respiratorios y ataques asmáticos. Irrita los ojos y el tracto respiratorio. Reduce las funciones pulmonares como el asma, la bronquitis crónica y el enfisema.

A manera de resumen, la imagen 6 ilustra lo anteriormente expuesto respecto a las consecuencias en la salud por la contaminación del aire.

---

<sup>19</sup> Contaminación Atmosférica y Efectos en la Salud de la población de Medellín y su área metropolitana. Págs. 20-21. Facultad Nacional de Salud Pública. Universidad de Antioquía. 2007.

**Imagen 6. Consecuencias en la Salud**



*Fuente: Diario El Comercio. Extraído el 18 de diciembre de 2013.*

Es importante mencionar que en la Nota Descriptiva N° 313 de la OMS, publicada en septiembre del año 2011, señala que cuanto menor sea la contaminación atmosférica de una ciudad, mejor será la salud respiratoria (a corto y largo plazo) y cardiovascular de su población.

Del mismo modo, dicha nota indica que la exposición a los contaminantes atmosféricos está en gran medida fuera del control personal y requiere medidas de las autoridades públicas a nivel nacional, regional e internacional.

Además, sostiene que puede lograrse una considerable reducción de la exposición a la contaminación atmosférica si se reducen las concentraciones de varios de los contaminantes atmosféricos más comunes que se emiten durante la combustión de fósiles.

Es necesario señalar, además, que la contaminación del aire sigue siendo una amenaza importante para la salud en todo el mundo. Según una evaluación de la OMS de la carga de enfermedad debida a la contaminación del aire, son más de dos millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados (producida por la quema de combustibles)<sup>20</sup>.

### **2.7.2 La Lluvia ácida**

La lluvia se vuelve ácida debido al descenso del pH, encontrándose de 4.0 a 4.2. La lluvia ácida se forma cuando el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) se combinan con el agua convirtiéndose en ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y en ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) respectivamente. Ambos requieren de la intervención de la luz solar. Los ácidos caen con la lluvia, con frecuencia a cientos de kilómetros de sus fuentes. Estos ácidos se acumulan en las nubes y caen en forma de lluvia o nieve, a este proceso se le llama deposición.

Los óxidos anteriormente mencionados también forman partículas de sulfatos y nitratos, estos se dispersan en la atmósfera y se depositan como finas partículas, a éste fenómeno se le llama deposición seca. Los generadores de los ácidos provienen de fuentes naturales y antropogénicas. Las fuentes naturales son los volcanes, los incendios forestales y la degradación bacteriana mientras que las fuentes antropogénicas son las industrias y la concentración urbana debido al parque automotor. Uno de los efectos de la lluvia ácida es que aumenta la degradación de construcciones metálicas expuestas a la intemperie.

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) señala que la lluvia ácida no causa daños directos a los seres humanos, es decir que caminar bajo la lluvia ácida o incluso nadar en un lago ácido no es más peligroso que caminar o nadar en agua limpia. Sin embargo, los contaminantes que producen la lluvia ácida como el

---

<sup>20</sup> Guías de Calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización Mundial 2005. Pág. 5. Publicado en 2006. En: <[http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf)>

dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NOx) sí son perjudiciales para la salud humana.<sup>21</sup>

### **2.7.3 Calentamiento Global**

El calentamiento global se refiere al aumento gradual de las temperaturas de la atmósfera y océanos de la Tierra. La causa del calentamiento global es el aumento de gases de efecto invernadero (GEI) que resultan de las actividades humanas como la quema de combustibles fósiles y la deforestación.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) creado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) creado al detectar el problema del cambio climático mundial en 1988, tiene como principal actividad hacer una evaluación periódica de los conocimientos sobre el cambio climático, y según su último informe alerta que los efectos del cambio climático ya se están notando sobre el planeta, con la existencia de terribles desastres naturales.

Asimismo, señala que el calentamiento global es imparable pero puede ser reducido de forma drástica si el ser humano reduce y controla las emisiones de GEI. Los GEI que más contribuyen al calentamiento del planeta en el sector del transporte incluyen el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Las emisiones de CO<sub>2</sub> son directamente proporcionales a la cantidad de combustible consumido.

## **2.8 La Contaminación del aire como Externalidad Negativa<sup>22</sup>**

Las externalidades se definen como decisiones de consumo, producción e inversión que toman los individuos, los hogares y las empresas y que afectan a terceros que no participan directamente en esas transacciones.

La contaminación es una externalidad negativa; por ejemplo, la contaminación del aire y la congestión vehicular originados por el parque automotor. Cuando un contaminador

---

<sup>21</sup> Web site of United States Environmental Protection Agency (EPA): <<http://www.epa.gov/acidrain/effects/health.html>>

<sup>22</sup> ¿Qué son las Externalidades? Economy Weblog. Rafael Pampillón. 2011.

toma decisiones basadas únicamente en sus costes y beneficios sin tener en cuenta los costes indirectos que recaen en las víctimas de la contaminación se genera una externalidad negativa.

El aire puro es un bien que se ciñe a los principios de imposibilidad de exclusión y no rivalidad. Es un bien gratuito, producto de la naturaleza y a disposición de todos. No está sujeto a ningún derecho de propiedad bien definido. En consecuencia, ni los hogares ni las empresas le atribuyen suficiente valor, y no es factible llegar a un resultado de mercado eficiente a través de la negociación.

## **2.9 Herramientas para evaluar la calidad del aire**

De acuerdo con las Guías para la Calidad del Aire de la OMS, existen tres herramientas principales para evaluar la calidad del aire: a) monitoreo del aire, b) modelos, y c) inventarios o medición de emisiones.

El monitoreo proporciona una figura incompleta, aunque útil, de la calidad actual del ambiente. Por consiguiente, generalmente se debe aplicar junto con otras técnicas objetivas de evaluación, que incluyen la elaboración de modelos de simulación, la medición e inventario de emisiones, la interpolación y el mapeo. Estas herramientas de evaluación deben ser concebidas como componentes interrelacionados en todo enfoque integral para evaluar la exposición o determinar el cumplimiento de los criterios de calidad del aire.

### **2.9.1 Inventarios de Emisiones de Fuentes Móviles<sup>23</sup>**

Los inventarios de emisiones son listados detallados de contaminantes emitidos por fuentes específicas en una determinada área. Son herramientas valiosas de planificación y evaluación y ayudan a definir la relación entre las fuentes contaminantes y las comunidades vecinas. Además, contribuyen al desarrollo de estrategias alternativas para el control de la contaminación y proporcionar información concisa sobre los contaminantes, fuentes y emisiones.

---

<sup>23</sup> Informe por ARPEL (Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe): Tecnologías Vehiculares y Emisiones. Junio 1999.

Los inventarios de emisiones son importantes para la investigación, planeación y toma de decisiones en materia de calidad de aire y salud.

En el caso de las fuentes móviles, la estimación de emisiones para varias categorías de fuentes vehiculares, permite la selección de medidas apropiadas de control para las categorías de fuentes consideradas importantes. Generalmente, las categorías de fuentes móviles están basadas en el tipo de combustible utilizado (gasolina, diesel o gas natural vehicular) y en la clase de vehículo de acuerdo con su peso y uso.

Los métodos para estimar las emisiones de fuentes móviles están basados en modelos computarizados, los cuales generan factores de emisión (masa de emisiones por kilómetro) para varias categorías de vehículos, basados en condiciones operativas promedio o típicas asumidas.

Los factores de emisión para las fuentes móviles dependen de varios factores, entre ellos la velocidad del vehículo y otras condiciones operativas, la tecnología de control de emisiones, el nivel de mantenimiento, las características del combustible, la temperatura ambiente, la humedad relativa y la altitud.

## **2.10 Marco Legal**

El Artículo 2 inciso 22 de la Constitución Política del Perú establece que es deber primordial del Estado garantizar el derecho de toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida.

El Artículo 67 de la Constitución Política del Perú señala que el Estado debe determinar la Política Nacional del Ambiente y promueve el uso sostenible de los recursos naturales.

El artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, referido al rol del Estado en materia ambiental, dispone que éste a través de sus entidades y órganos correspondientes diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha Ley.

El artículo 9 de la Ley General del Ambiente establece que la Política Nacional del Ambiente tiene por objetivo mejorar la calidad de vida de las personas, garantizando la existencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales en el largo plazo; y el desarrollo sostenible del país, mediante la prevención, protección y recuperación del ambiente y sus componentes, la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, de una manera responsable y congruente con el respeto de los derechos fundamentales de la persona.

La Ley N° 30130, del 1 de diciembre de 2013, declara de necesidad pública e interés nacional la prioritaria ejecución de la modernización de la Refinería de Talara para asegurar la preservación de la calidad del aire y la salud pública para lo cual PETROPERÚ debe asegurar que este proyecto se ejecute y que incluya las medidas necesarias para asegurar el cumplimiento de la regulación de la cantidad de azufre en el combustible.

El Decreto Supremo N° 074-2001-PCM en su Artículo 4 establece los estándares primarios de calidad del aire y los niveles de concentración máxima para contaminantes criterio.

Mediante Decreto Supremo N° 025-2005 EM se aprueba el cronograma de reducción progresiva de azufre en diesel. A partir del 1 de enero de 2010 se prohíbe importación de diesel con más de 2,500ppm y hace de cumplimiento obligatorio la NTP 321.003.2005.

Mediante Decreto Supremo N° 041-2005 EM se modifica el decreto antes mencionado, establece solo dos calidades de diesel (5000ppm y 500ppm de azufre) y dispone que a partir del 1 de enero de 2010 sea de cumplimiento obligatorio la NTP de diesel que se encuentre vigente.

La Ley N° 28694 establece que a partir del 1 de enero de 2010 se prohíbe la comercialización para el consumo interno de combustible diesel cuyo contenido de azufre sea superior a las 50 partes por millón por volumen.

El Decreto Supremo N° 061-2009 EM, publicado el 5 de setiembre de 2009, señala que a partir del 1 de enero de 2010 queda prohibida la comercialización de Diesel B2 con un contenido de azufre mayor a 50 ppm en los establecimientos en donde se expendía dicho combustible para uso automotriz, ubicado en la provincia de Lima y en la Provincia Constitucional del Callao. De esta manera, el Ministerio de Energía y Minas ratificó la prohibición del uso y comercialización del diesel B2 cuyo contenido de azufre sea mayor a 50 ppm.

Dicho dispositivo, establece además en su Artículo 1º criterios para determinar las zonas geográficas en las que se podrá autorizar el expendio de diesel con contenido de azufre mayor a 50 ppm. Con ese fin se han establecido criterios como: la concentración o densidad poblacional, niveles de contaminación del aire, volumen del parque automotor y del consumo de diesel.

La Resolución Ministerial N° 139-2012-MEM/DM, publicada el 18 de marzo de 2012, prohíbe la comercialización y uso del diesel B5 con un contenido de azufre mayor a 50 ppm en los departamentos de Lima, Arequipa, Puno, Cusco y Madre de Dios y en la Provincia Constitucional del Callao.

## **2.11 Participación de las entidades involucradas**

### **MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES (MTC)**

El MTC es la autoridad competente para otorgar las autorizaciones de funcionamiento a los Centros de Inspección Técnica Vehicular (CITV). Establecer a nivel nacional los valores de los LMP de emisiones contaminantes para vehículos automotores en circulación, vehículos automotores nuevos a ser importados o ensamblados en el país y vehículos usados importados.

### **MINISTERIO DEL AMBIENTE (Minam)**

El Minam a través de la Dirección General de Calidad Ambiental promueve la mejora y preservación de la calidad del ambiente, mediante la adecuada gestión y control de la calidad del agua, aire y suelo.



Sus principales funciones son elaborar e implementar mecanismos, instrumentos de gestión y alternativas necesarias para prevenir el deterioro de la calidad ambiental, utilizando también mecanismos de ecoeficiencia. Esta Dirección elabora los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire, ruido y radiaciones no ionizantes y los Límites Máximos Permisibles de emisiones para actividades específicas, orientados a controlar y mantener la calidad del aire adecuada.

### **MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (Minem)**

Por su parte el Minem se encarga de permitir la mejora en la calidad de los combustibles y la alineación de nuestro país respecto de los estándares ambientales internacionales.

### **MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA (MML)**

La Gerencia de Transporte Urbano (GTU) de la MML es la entidad encargada de planificar, regular y gestionar el tránsito urbano de pasajeros, otorgando las concesiones, autorizaciones y permisos de operación para la prestación de las distintas modalidades de servicios públicos de transporte de pasajeros.

Al mismo tiempo tiene como funciones fiscalizar y controlar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en la concesión otorgada a las empresas para prestar el servicio de transporte público urbano e interurbano en la ciudad de Lima, así como proponer políticas públicas locales que promuevan la mejor gestión del Sistema de Transporte y Tránsito.

### **ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN LA ENERGÍA Y MINERÍA (Osinergmin)**

El Osinergmin ejerce de manera exclusiva las facultades de control de cantidad (metrológico) y de calidad de combustibles líquidos y otros productos derivados de los hidrocarburos en las actividades comprendidas bajo el ámbito de la Ley Orgánica de Hidrocarburos.

### **SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (Senamhi)**

Esta entidad se encuentra adscrita al Minam. Dentro de sus funciones, el Senamhi participa en la vigilancia atmosférica y presta servicios especializados, para contribuir al desarrollo sostenible, la seguridad y el bienestar nacional. Asimismo, viene realizando el monitoreo pasivo del polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables (CSS) y el monitoreo automático de los gases.

### **DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL (Digesa)**

La Digesa a través de la Dirección de Ecología y Protección del Ambiente (DEPA) se encarga de elaborar planes, programas, proyectos de prevención y control de la contaminación ambiental, así como normar, controlar y aplicar las sanciones establecidas en la legislación sanitaria y ambiental; supervisa el cumplimiento de Normas y Reglamentos Sanitarios en aspectos de Ecología y Protección del ambiente. Verifica el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental para la protección de la Salud.

## **CAPÍTULO III      METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 Tipo y Diseño de investigación**

La tesis tiene un enfoque cuantitativo y es de tipo explicativa. Según Dankhe, este tipo de estudios va más allá de describir conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre variables, estos están orientados a responder a las causas de los fenómenos de los eventos físicos, sociales y económicos; es decir explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da este o porque dos o más variables están relacionadas.

Este tipo de Investigación es más estructurada y de hecho implica a los tipos correlacionales y descriptivos, además proporcionan un entendimiento del fenómeno al que se hace referencia.

### **3.2 Fuentes y Técnicas de Recolección de Información**

Como parte de la metodología para analizar la intensidad vehicular se realizó el aforo de los automóviles que transitan por Lima Cuadrada, debido a que la entidad encargada no contaba con dicha data.

El aforo vehicular se obtuvo mediante la filmación y respectivo conteo de vehículos previa selección del lugar y periodo de aforo, de tal manera de obtener la actividad vehicular típica del área de estudio y que al mismo tiempo ésta sea representativa.

El punto elegido para realizar el aforo fue la primera cuadra de las avenidas Abancay y Tacna, de modo de contar con una mejor visibilidad y captar los vehículos que circulan en ambos sentidos de las vías. Adicionalmente, con el fin de obtener la situación actual del parque automotor de transporte público se complementó el trabajo de campo con la toma de fotografías variadas, las cuales se pueden ver en el anexo 4.

La información correspondiente al transporte público tal como el año de fabricación, placa de vehículo, peso bruto, tipo de combustible y clase de vehículo que circula por las avenidas Abancay y Tacna se solicitó a la Municipalidad Metropolitana de Lima

(MML). Cabe indicar que la data fue debidamente trabajada en Microsoft Excel en función a los datos más relevantes y de interés a efectos de desarrollar la tesis. El anexo 5 muestra el formato y el tipo de información que se registra en la base de datos de la MML, de esta manera se llegó a un total de 4104 datos.

Con relación al tema de salud pública se solicitó data actualizada sobre las primeras causas de morbilidad en Lima a la Dirección de Salud V Lima - Ciudad, órgano desconcentrado del Ministerio de Salud (MINSA).

Finalmente se usó el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares, también conocido como IVE por sus siglas en inglés, el cual se explica con mayor detalle en el siguiente capítulo y que permitió elaborar un estimado de los contaminantes de fuentes móviles, y a la vez generar escenarios.

## CAPÍTULO IV ELABORACIÓN DE UN INVENTARIO ESTIMADO DE EMISIONES CONTAMINANTES

### 4.1 Aplicación del Modelo Internacional IVE

El modelo Internacional de Emisiones Vehiculares<sup>24</sup>, IVE en adelante, correspondió al trabajo conjunto del Centro para la Investigación y Tecnología Ambiental (CE-CERT) de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de California en Riverside (UCR), Investigación de Sistemas Sustentables Globales (GSSR) y el Centro de Investigación de Sistemas Sustentables Internacionales (ISSRC). El financiamiento fue provisto por la Agencia de Protección del Medioambiente de Estados Unidos (EPA). La primera versión se publicó en junio de 2003 (IVE 1.0.3) y la presente versión fue publicada en julio de 2008.

Dicho modelo ha sido aplicado en África (Nairobi), Asia (China, India y Kazahastan), Europa (Turquía), Norteamérica (Estados Unidos y México) y Sudamérica (Argentina, Brasil, Colombia, Chile, Perú).

El modelo IVE se diseñó para generar estimativos de inventarios de emisiones del parque automotor cuyo objetivo es apoyar a ciudades y regiones con el fin de:

- Centrar las estrategias de control y la planificación del transporte en las que son las más eficaces.
- Predecir como diferentes estrategias afectarían las emisiones locales.
- Medir el progreso en la reducción de las emisiones en el tiempo.

Además, el mencionado modelo permite realizar estimaciones de 15 contaminantes: contaminantes criterio, emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes tóxicos.

Son tres los componentes necesarios para desarrollar un inventario de emisiones de fuentes móviles:

---

<sup>24</sup> Página web del International Vehicle Emission Model (IVE): <<http://www.issrc.org/ive/>>. Fecha de consulta: 05 de abril de 2013.

- 1) Factores de emisión, de cada uno de los contaminantes generados, es decir, cuántos gramos de cada contaminante son liberados a la atmósfera por cada kilómetro recorrido por tipo de vehículo.
- 2) Actividad vehicular, que se mide en kilómetros recorridos al día por tipo de vehículo.
- 3) Distribución de la flota vehicular, se refiere al número de vehículos que se encuentran en el área donde se pretende calcular las emisiones de contaminantes.

El modelo IVE requiere dos archivos de entrada, uno que describe la flota vehicular (identificación de los tipos de vehículos y participación en la actividad vehicular) y otro que describe la actividad vehicular (comportamiento de manejo, características del área de estudio y otros parámetros como velocidad, características del combustible, entre otros) para la localidad de interés. Además, un tercer archivo opcional se utiliza en el caso que la localidad de interés tenga información específica de factores de emisión.

#### **4.1.1 Elaboración del Archivo Flota**

La elaboración del archivo flota implica determinar el número de vehículos automotores en circulación, la distribución por tipo de vehículo y por tipo de combustible, así como la estratificación de la flota por año – modelo. Esta información vehicular se encuentra registrada en bases de datos, que con frecuencia contienen los parámetros antes mencionados que permiten establecer la caracterización vehicular de la flota.

Un archivo Flota es una lista de la fracción de la flota por tecnología vehicular. El modelo IVE contiene un total de 1372 tecnologías predefinidas, donde cada tecnología está asociada a un número característico. Estas tecnologías se agrupan usando los siguientes parámetros:

- Tamaño de vehículo (7 opciones incluyendo camiones)
- Tipo de combustible (5 opciones)
- Uso de vehículo (3 opciones)

- Sistema de entrega de combustible (3 opciones)
- Sistema de control emisiones evaporativas (varios)
- Sistema / Estándar de control de escape (varios)

Para validar y ajustar la información de los kilómetros recorridos dentro de la zona de estudio, se hicieron seguimientos a dos rutas de buses de transporte público y a dos vehículos particulares dentro del área de estudio. Con las consultas se estableció la distancia promedio diaria recorrida por bus, se asumió un promedio de 5 vueltas por bus.

Para calcular la longitud de las avenidas Tacna y Abancay se usó el Mapinfo Professional, el cual es un software GIS (Sistema de Información Geográfica) versátil que tiene la capacidad de tratar mapas digitales de forma muy detallada (ver tabla 5).

**Tabla 5 . Longitud de Avenidas Tacna y Abancay**

<b>Avenida</b>	<b>Longitud Avenida (Km)</b>	<b>Longitud recorrido por día (Km)</b>
Tacna	0.86	4.3
Abancay	1.3	6.5

*Fuente:Elaboración propia*

Luego se estableció una relación entre la edad y el recorrido en kilómetros de los buses (ver tabla 6).

Tabla 6. Estimado Anual de Recorrido por Edad de Vehículo

RANGO Años	Edad Vehículos Años	Recorrido Acumulado (Km)	RANGO (Km)
< 6	0	0	< 79
	5	76,995	
	5	79,000	
6 a 11	5.22	80,000	80 – 161
	11.94	161,000	
> 11	12	161,656	>161
	15	189,677	
	20	225,364	
	25	247,281	
	30	255,429	

Fuente: *Elaboración Propia*

De la muestra seleccionada de transporte público, se realiza el primer filtro y se obtiene que solo hay 2 tipos de combustibles: Diesel B5 con 50 ppm de azufre y Gas Natural Vehicular. Luego se realiza el segundo filtro con los pesos de los vehículos: ligeros (9000 - 14000 libras), medianos (14001 - 33000 libras), pesados (33001 libras a más).

Luego se definen los índices por tecnología, los cuales se muestran en la Tabla 7. De otro lado, en la tabla 8 se observa el resumen de estos índices por tecnología.

Posteriormente, se ingresa en la plantilla de archivo Excel la fracción de recorrido para cada tecnología. Solo se usa el Grupo 1, el Grupo 2 es ignorado. La última fila hacia abajo indica la suma de todas las fracciones ingresadas. Los valores ingresados deben estar entre el rango 0 y 1. Un valor de 1 indicará que 100% de los vehículos en la flota corresponden a esa tecnología. Una celda en blanco se interpreta como cero. Una vez completada, la columna debe sumar 1, como se muestra en la tabla 9.



**Tabla 7. Índices definidos para el Transporte Público de Lima Cuadrada (2014)**

Índice	Combustible	Peso	Control A/C	Emisiones de Escape	Emisiones Evaporativas	Kilometraje
1072	Diesel	Ligero	Pre-cámara	No	No	80-161K km
1073	Diesel	Ligero	Pre-cámara	No	No	>161K km
1076	Diesel	Mediano	Pre-cámara	No	No	>161K km
1078	Diesel	Pesado	Pre-cámara	No	No	80-161K km
1079	Diesel	Pesado	Pre-cámara	No	No	>161K km
1089	Diesel	Ligero	Inyección directa	EGR+Improv	No	<79K km
1092	Diesel	Mediano	Inyección directa	EGR+Improv	No	<79K km
1095	Diesel	Pesado	Inyección directa	EGR+Improv	No	<79K km
993	Gas Natural	Mediano	FI	3 way EGR	PCV	<79K km
994	Gas Natural	Mediano	FI	3 way EGR	PCV	80-161K km
996	Gas Natural	Pesado	FI	3 way EGR	PCV	<79K km
997	Gas Natural	Pesado	FI	3 way EGR	PCV	80-161K km

Fuente: *Elaboración Propia*

**Tabla 8. Resumen de Índices (2014)**

Índices IVE (tecnologías)	1072	1073	1089	1076	1092	1078	1079	1095	993	994	996	997	Total
N° de Vehículos por Índice	1	79	5	76	22	8	8	27	8	1	11	1	247
Km recorridos	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	
Km por tecnología	6.5	513.5	32.5	494	143	52	52	175.5	52	6.5	71.5	6.5	1605.5
Fracción de recorrido	0.004	0.320	0.020	0.308	0.089	0.032	0.032	0.109	0.032	0.004	0.045	0.004	1
Porcentaje	0.4%	32.0%	2.0%	30.8%	8.9%	3.2%	3.2%	10.9%	3.2%	0.4%	4.5%	0.4%	100.0%

Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla 9. Archivo Flota creado en Excel (2014)

1		Fleet:	lima	0,9998						Fraction of Miles Driven Group 1 vehicles
		Description	Fuel	Weight	AirFuel Control	Exhaust Control	Evaporative Control	Age	Indez	
2	1071	Truck/Bus	Ethanol	Heavy	FI	3-Way/EGR	PCV	<79K km	1068	
	1072	Truck/Bus	Ethanol	Heavy	FI	3-Way/EGR	PCV	80-161K km	1069	
	1073	Truck/Bus	Ethanol	Heavy	FI	3-Way/EGR	PCV	>161K km	1070	
	1074	Truck/Bus	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	1071	
	1075	Truck/Bus	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	None	None	80-161K km	1072	0,0040
	1076	Truck/Bus	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	None	None	>161K km	1073	0,3198
	1077	Truck/Bus	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	1074	
	1078	Truck/Bus	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	None	None	80-161K km	1075	
	1079	Truck/Bus	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	None	None	>161K km	1076	0,3077
	1080	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	1077	
	1081	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	None	None	80-161K km	1078	0,0324
	1082	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	None	None	>161K km	1079	0,0324
	1083	Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	<79K km	1080	
	1084	Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	80-161K km	1081	
	1085	Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	>161K km	1082	
	1086	Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	<79K km	1083	
	1087	Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	80-161K km	1084	
	1088	Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	>161K km	1085	
	1089	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	Improved	None	<79K km	1086	
	1090	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	Improved	None	80-161K km	1087	
	1091	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	Improved	None	>161K km	1088	
	1092	Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	EGR-Improv	None	<79K km	1089	0,0202
	1093	Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	EGR-Improv	None	80-161K km	1090	
	1094	Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	EGR-Improv	None	>161K km	1091	
	1095	Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	EGR-Improv	None	<79K km	1092	0,0891
	1096	Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	EGR-Improv	None	80-161K km	1093	
	1097	Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	EGR-Improv	None	>161K km	1094	
	1098	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	EGR-Improv	None	<79K km	1095	0,1093
	1099	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	EGR-Improv	None	80-161K km	1096	
	1100	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	EGR-Improv	None	>161K km	1097	

#### 4.1.2 Elaboración del Archivo Localidad

Es necesario recolectar información de los patrones de conducción y de las condiciones ambientales específicas del área. El archivo Localidad requiere la siguiente información:

- 1) Comportamiento de conducción: Perfiles de velocidad y aceleración.
- 2) Patrones de partidas: Cantidad de partida y Patrón de soak.
- 3) Variables Ambientales: Altitud, pendiente, temperatura y humedad.
- 4) Características del combustible: Calidad del combustible.

Esta información fue recolectada y cada uno de estos parámetros está incluido en el modelo IVE debido a que tienen un impacto significativo en las emisiones.

Los patrones de conducción: La velocidad, aceleración y desaceleración de un vehículo tienen un profundo impacto en las emisiones a la salida del tubo de escape del vehículo. Estos patrones se caracterizan usando dos parámetros:

- Potencia específica vehicular (VSP por sus siglas en inglés)
- Estrés del motor

Ambos se obtienen conociendo el tipo de vehículo y una traza de velocidad en segundos. Si la pendiente está incluida, se requiere también la altitud segundo a segundo. Si la pendiente no está incluida, la pendiente se puede asumir como cero en la ecuación 4.1. Las ecuaciones 4.1 y 4.2 muestran cómo se obtiene la Potencia específica vehicular (VSP) y el estrés del motor. Las ecuaciones son:

$$VSP = v [ 1.1a + 9.81 (\text{atan}(\sin(\text{pendiente}))) + 0.132] + 0.000302v^3 \quad (\text{Ec. 4.1})$$

$$\text{pendiente} = (h_{t=0} - h_{t=-1})/v_{(t=-1 \text{ a } 0 \text{ segundos})}$$

$$v = \text{velocidad} \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$a = \text{aceleración} \left( \frac{m}{s^2} \right)$$

$$h = \text{altitud (m)}$$

$$\text{Estrés Motor (sin unidades)} = \text{Índice RPM} + \left( 0.08 \frac{ton}{kw} \right) * PPrepromedio \quad (\text{Ec. 4.2})$$

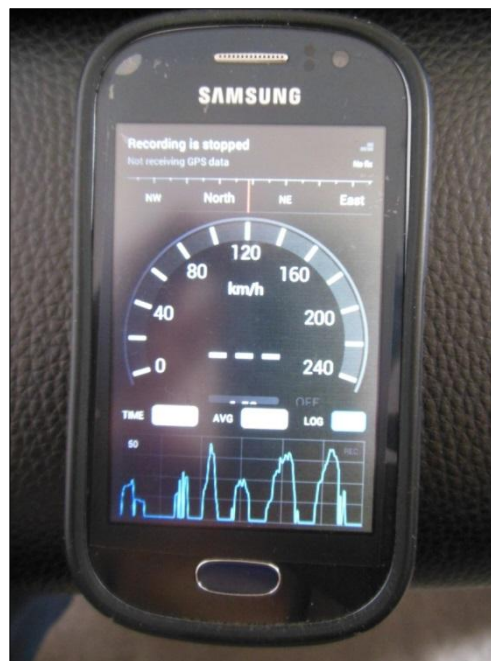
$$PPrepromedio = \text{Promedio (VSP}_{t=-5 \text{ sec to } -25 \text{ sec})} \text{ (kw/ton)}$$

$$\text{Índice RPM} = \text{Velocidad}_{t=0} / \text{Divisor Velocidad (sin unidades)}$$

La presente tesis enfocó las actividades de trabajo de campo entre agosto y septiembre del año 2013, en el periodo de tiempo comprendido desde las 7 a.m. hasta las 10 p.m.

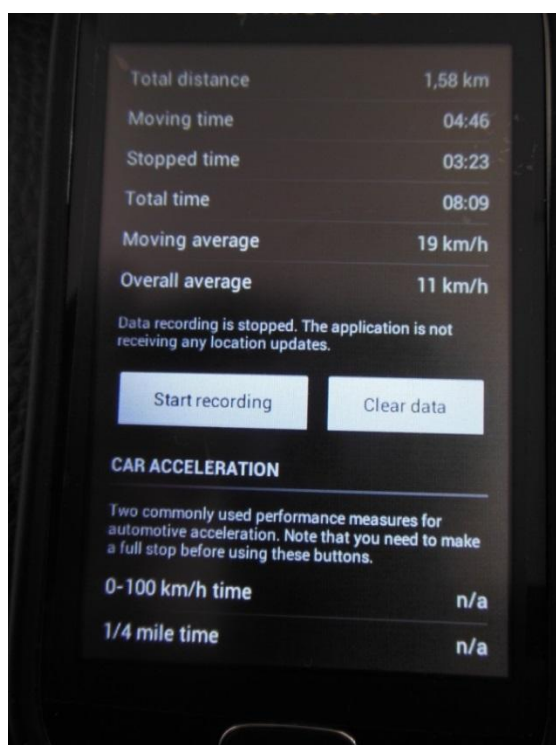
Para las mediciones de posición en tiempo real se utilizó la aplicación para android llamada SpeedView, que viene a ser un velocímetro que usa el GPS (Global Positional System) del móvil para proporcionar la distancia recorrida, velocidades promedio y además cuenta con una alarma que se activa si sobrepasas un límite establecido. Además es capaz de guardar un historial de todos los registros obtenidos y exportar la ruta recorrida en formato GPX a la tarjeta SD.

**Fotografía 7. Vista del uso del SpeedView**



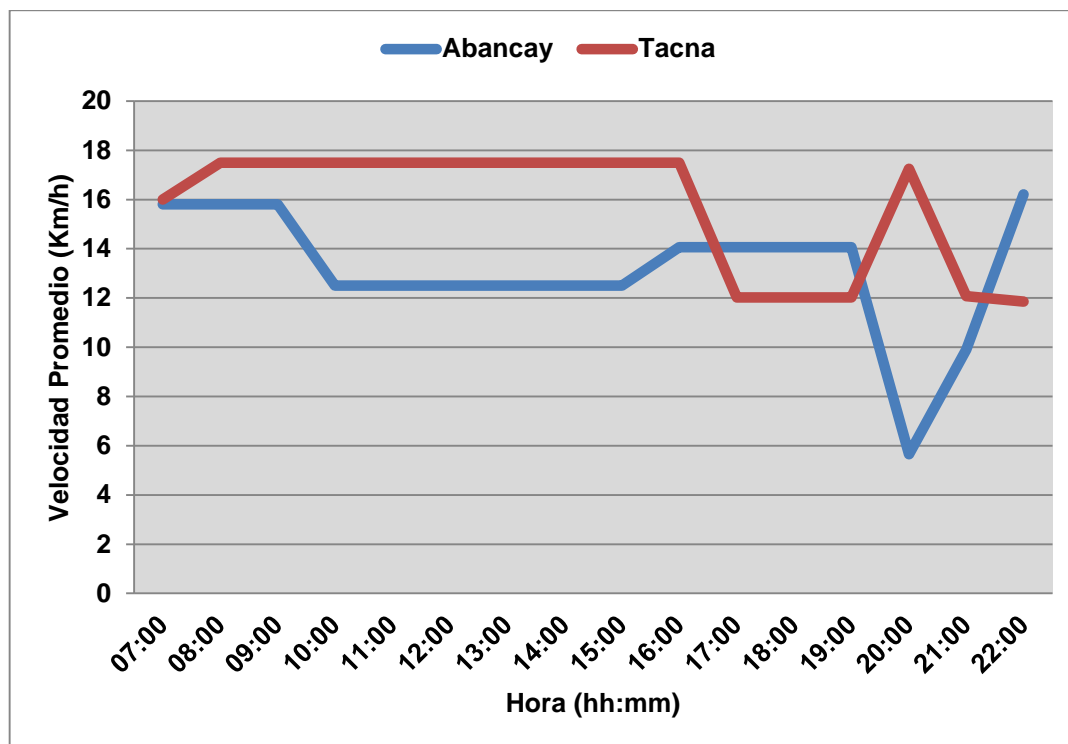
En la fotografía 7 se observa cómo se genera el perfil de velocidad con el uso de la aplicación SpeedView. En cuanto a la fotografía 8 se puede notar el resumen con los datos obtenidos del recorrido, tal como la distancia, tiempo de recorrido, tiempo de parada y la velocidad promedio.

**Fotografía 8. Resumen de datos con la aplicación SpeedView**



Con esta información se determinó los patrones de conducción para cada categoría de vehículos. A continuación, en el gráfico 8 se muestra las velocidades promedio en las vías Abancay y Tacna desde las 7 a.m. hasta las 10 p.m.

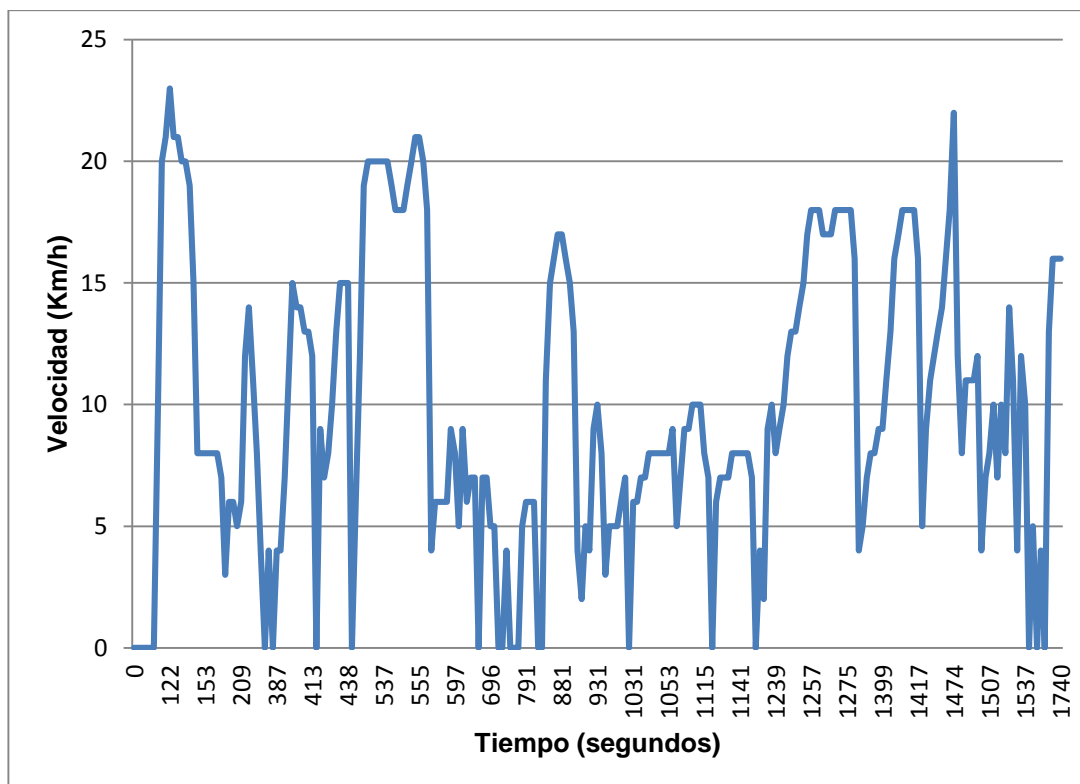
**Gráfico 8 . Velocidades Promedio en las Avenidas Tacna y Abancay**



*Fuente: Elaboración Propia*

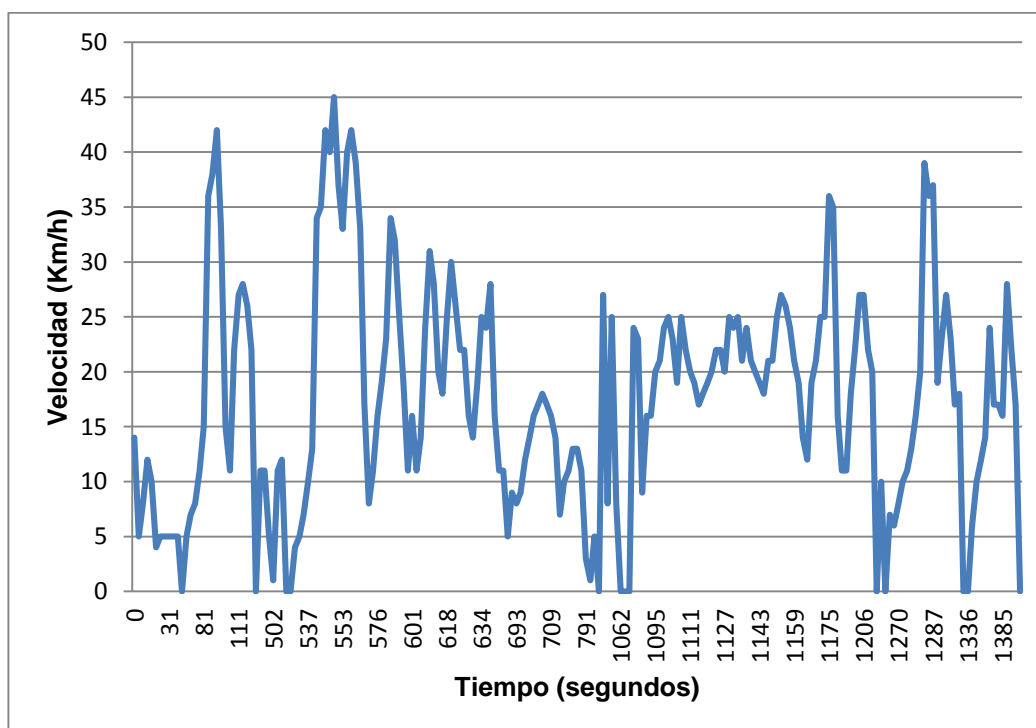
En los gráficos 9 y 10 se muestra las trazas de velocidad en las avenidas materia de estudio en horas de la mañana y de la noche, donde se puede apreciar los picos con la máxima velocidad alcanzada así como las paradas realizadas en los tramos.

**Gráfico 9 . Traza de velocidad en la Avenida Abancay en la noche**



Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico 10. Traza de velocidad en la Avenida Tacna en la mañana (9 a.m.)**



Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de velocidad se estima el VSP y el estrés del motor. El resultado del procesamiento de datos es la fracción de tiempo recorrido en cada una de las categorías de VSP y estrés.

El modelo IVE divide el VSP en 20 categorías llamados “*bines*”, y a su vez divide la operación del motor en 3 niveles de esfuerzo o estrés, para un total de 60 *bines*. Normalmente la operación de los vehículos se encontrará en los primeros 20 niveles de operación.

Los niveles de stress son: bajo, medio y alto. Los bines se dividen en 3 niveles de stress, y se les asigna valores que van del 0 al 59 completando 60 bines en total que son los que componen el modelo IVE, tal como se puede apreciar en la tabla 10.

**Tabla 10. Potencia Específica Vehicular (VSP) agrupada en 20 bines**

Bin	VSP (kW/Ton)		Bin	VSP (kW/Ton)	
	Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
0	-80,0	-44,0	10	-7,0	-2,9
1	-44,0	-39,9	11	-2,9	1,2
2	-39,9	-35,8	12	1,2	5,3
3	-35,8	-31,7	13	5,3	9,4
4	-31,7	-27,6	14	9,4	13,6
5	-27,6	-23,4	15	13,6	17,7
6	-23,4	-19,3	16	17,7	21,8
7	-19,3	-15,2	17	21,8	25,9
8	-15,2	-11,1	18	25,9	30,0
9	-11,1	-7,0	19	30,0	1000,0

Fuente: Modelo IVE

Cabe indicar que los bines entre el 0 y el 11 se refieren a situaciones donde el vehículo está recibiendo energía, como las bajadas pronunciadas, reducción de la velocidad, frenadas, esperando cambio de luz de un semáforo o una combinación de éstas. Del bin 12 al 19 se le atribuye situaciones de aceleraciones positivas o nulas en movimiento, subiendo una pendiente o una combinación de éstas.



A continuación en la tabla 11 se presenta la clasificación de los patrones de conducción según el estado de potencia y estrés del motor en la avenida Abancay para una traza de velocidad, donde predomina el bin 11.

**Tabla 11. Distribución de los patrones de conducción**

Grupo de Stress	Bins									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bajo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.30%	3.40%
	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
	72.80%	19.10%	2.10%	1.10%	0.00%	0.30%	0.30%	0.00%	0.30%	0.00%
Medio	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Alto	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

### Variables Ambientales

Parámetros como temperatura ambiente, humedad relativa y pendiente se utilizan para ajustar las emisiones. La opción de usar pendiente se incluye en el archivo Localidad y debe usarse si en promedio existe una pendiente prevaeciente. Por ejemplo, si el usuario desea estimar las emisiones en una sección en subida de la vía, el usuario puede ingresar la pendiente y estimar el impacto de las emisiones. Para nuestro caso dicha pendiente es considerada cero y en cuanto a la temperatura ambiental, este valor fue de 18 °C y la humedad relativa fue de 82%, estas variables ambientales corresponden al mes de agosto del año 2013.

### Características del Combustible

La calidad y contenidos del combustible pueden tener un impacto significativo en las emisiones de un vehículo. Muchas de las características del combustible pueden obtenerse analizando el combustible, o contactando a los fabricantes. La cantidad de azufre en el diesel es del valor de 50 ppm con un 5% de biodiesel (B100).

## CAPÍTULO V ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con la finalidad de hacer un análisis de resultados se ha elaborado tres escenarios con el apoyo del programa IVE, cada uno con un horizonte de cinco años. A continuación se detalla la caracterización y respectivos efectos para cada uno de los tres escenarios.

### 5.1 Escenario 1: Caracterización del transporte público en el año 2009

- Competencia agresiva y excesiva entre transportistas con la finalidad de captar y dejar pasajeros en cualquier parte de la vía pública.
- Aguda congestión vehicular por la ausencia de paraderos definidos.
- La normatividad de la Municipalidad Metropolitana de Lima era excesivamente flexible respecto de los requisitos que deben cumplir las empresas para brindar el servicio de transporte urbano con ausencia y débil de control y fiscalización.
- En su afán por no reducir sus ingresos y ante el aumento de sus costos operativos, los transportistas extienden las jornadas de trabajo hasta 10 y 12 horas diarias.
- Alto número de vehículos obsoletos.
- Giros a la derecha e izquierda en las avenidas Abancay y Tacna.
- La calidad del combustible afecta al motor de los vehículos. La calidad de nuestro combustible no era la ideal, con un contenido de azufre de más de 2000 ppm.
- La falta de mantenimiento de los vehículos y la inexistencia de revisiones técnicas obligatorias y rigurosas inciden en el incremento de factores de emisión de los vehículos, originando una mayor emisión de contaminantes por unidad de tiempo y recorrido.

- La estructura del ISC (Impuesto Selectivo al Consumo) ha incentivado durante muchos años, con éxito, el consumo masivo del diesel, combustible muy contaminante, lo cual explica la situación reflejada en el 2009.
- La fiscalización de la Gerencia de Transporte Urbano de Lima es débil, y cuenta con un escaso personal y con ineficientes herramientas para realizar esta actividad.

A continuación se muestra el resumen de índices del transporte público de Lima cuadrada (2009) con la aplicación del *programa IVE*, considerando la caracterización antes descrita.

**Tabla 12. Resumen de índices (2009)**

Índices IVE (tecnologías)	1072	1073	1089	1076	1092	1077	1079	1095	993	
N° de Vehículos por Índice	5	79	1	108	4	8	29	6	7	247
Km recorridos	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	
Km por tecnología	32.5	513.5	6.5	702	26	52	188.5	39	45.5	1605.5
Fracción de recorrido	0.020	0.320	0.004	0.437	0.016	0.032	0.117	0.024	0.028	1.000
Porcentaje	2.0%	32.0%	0.4%	43.7%	1.6%	3.2%	11.7%	2.4%	2.8%	100.0%

Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla 13. Archivo Flota en Excel (2009)

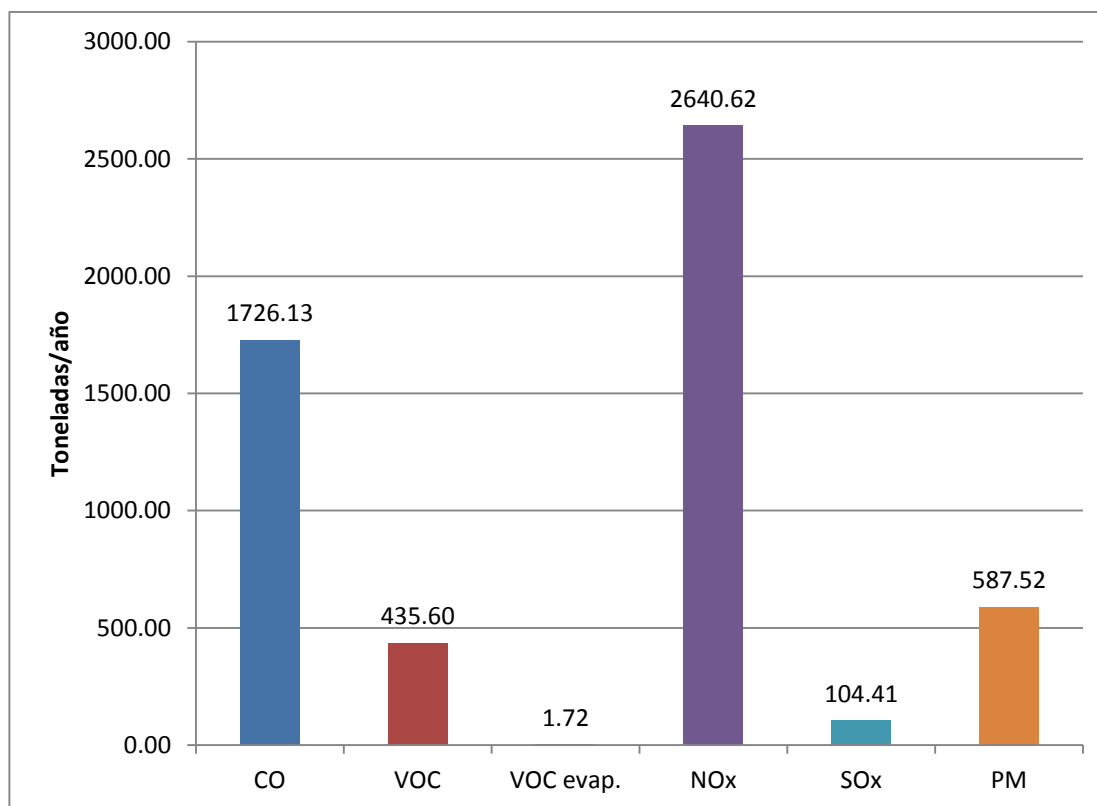
1		Fleet:	lima	0.9980															
2		Description	Fuel	Weight	Air/Fuel Control	Exhaust Control	Evaporative Control	Age	Index	Fraction of Miles Driven Group 1 vehicles	Fraction of Miles Driven Group 2 vehicles	Fraction with AC Group 1 vehicles	Fraction with AC Group 2 vehicles						
1071	Truck/Bus	Ethanol	Heavy	FI	3-Way/EGR	PCV	None	<79K km	1068										
1072	Truck/Bus	Ethanol	Heavy	FI	3-Way/EGR	PCV	None	80-161K km	1069										
1073	Truck/Bus	Ethanol	Heavy	FI	3-Way/EGR	PCV	None	>161K km	1070										
1074	Truck/Bus	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	None	None	None	<79K km	1071										
1075	Truck/Bus	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	None	None	None	80-161K km	1072	0.0200									
1076	Truck/Bus	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	None	None	None	>161K km	1073	0.3200									
1077	Truck/Bus	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	None	None	None	<79K km	1074										
1078	Truck/Bus	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	None	None	None	80-161K km	1075										
1079	Truck/Bus	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	None	None	None	>161K km	1076	0.4370									
1080	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	None	None	None	<79K km	1077	0.0320									
1081	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	None	None	None	80-161K km	1078										
1082	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	None	None	None	>161K km	1079	0.1170									
1083	Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	None	<79K km	1080										
1084	Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	None	80-161K km	1081										
1085	Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	None	>161K km	1082										
1086	Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	None	<79K km	1083										
1087	Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	None	80-161K km	1084										
1088	Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	None	>161K km	1085										
1089	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	Improved	None	None	<79K km	1086										
1090	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	Improved	None	None	80-161K km	1087										
1091	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	Improved	None	None	>161K km	1088										
1092	Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	EGR+Improv	None	None	<79K km	1089	0.0040									
1093	Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	EGR+Improv	None	None	80-161K km	1090										
1094	Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	EGR+Improv	None	None	>161K km	1091										
1095	Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	EGR+Improv	None	None	<79K km	1092	0.0160									
1096	Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	EGR+Improv	None	None	80-161K km	1093										
1097	Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	EGR+Improv	None	None	>161K km	1094										
1098	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	EGR+Improv	None	None	<79K km	1095	0.0240									
1099	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	EGR+Improv	None	None	80-161K km	1096										
1100	Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	EGR+Improv	None	None	>161K km	1097										
1101	Truck/Bus	Diesel	Light	FI	Particulate	None	None	<79K km	1098										
1102	Truck/Bus	Diesel	Light	FI	Particulate	None	None	80-161K km	1099										

### **Efectos de la caracterización del transporte público en el año 2009**

- El mayor impacto de la contaminación del transporte es ocasionada por el uso intensivo del diesel 2, que en el caso de Perú proviene de su alto contenido de azufre, lo que provoca emisión al aire de óxidos de azufre, que contribuyen a la formación del dióxido de azufre y partículas finas (material particulado). El contaminante de mayor peligrosidad para la salud de la población son el material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>), que son altamente nocivas para la salud de las personas debido a su facilidad para penetrar en los tejidos más profundos de los pulmones. Sus principales consecuencias son el incremento de infecciones respiratorias, el asma, las alergias, así como el aumento de mortalidad por enfermedades pulmonares y cardíacas.
- Un débil control por parte de los centros de revisión técnicas implica que los vehículos obsoletos continúen contaminando.

Como resultado del uso del *programa IVE*, en el gráfico 11 se muestra las cantidades de contaminantes criterio en toneladas/año el contaminante que más predomina es el NO<sub>x</sub> con un 48% del total de emisiones, y el material particulado representa cerca del 11% de dichas emisiones.

**Gráfico 11. Total de Emisiones de Contaminantes Criterio en Lima Cuadrada (2009)**



Fuente: Elaboración Propia

## 5.2 Escenario 2: Caracterización del transporte público en el año 2014

- Reordenamiento de paraderos para el transporte público en las avenidas Tacna y Abancay.
- Presencia de inspectores municipales de transporte.
- En este escenario, los transportistas siguen extendiendo sus jornadas de trabajo hasta 10 y 12 horas diarias.
- Reducción de giros a la derecha e izquierda, contribuyendo en parte a minimizar la congestión vehicular.

- Los resultados estadísticos muestran que a la fecha siguen circulando un alto porcentaje, casi de 50%, de unidades de transporte público con un promedio de 20 años (obsoletos).
- Incremento de más unidades de transporte público a gas natural vehicular.
- Mejora la calidad del combustible más consumido por la flota de transporte público, Diesel B5 con 50 ppm de azufre.
- Se ve circular a unidades de transporte público que a simple vista se encuentran carentes de mantenimiento, lo cual significa dichas unidades no han pasado por un riguroso control en los centros de revisiones técnicas.
- Hay una sobreoferta de rutas de transporte público.
- El diesel continúa siendo el combustible más consumido.

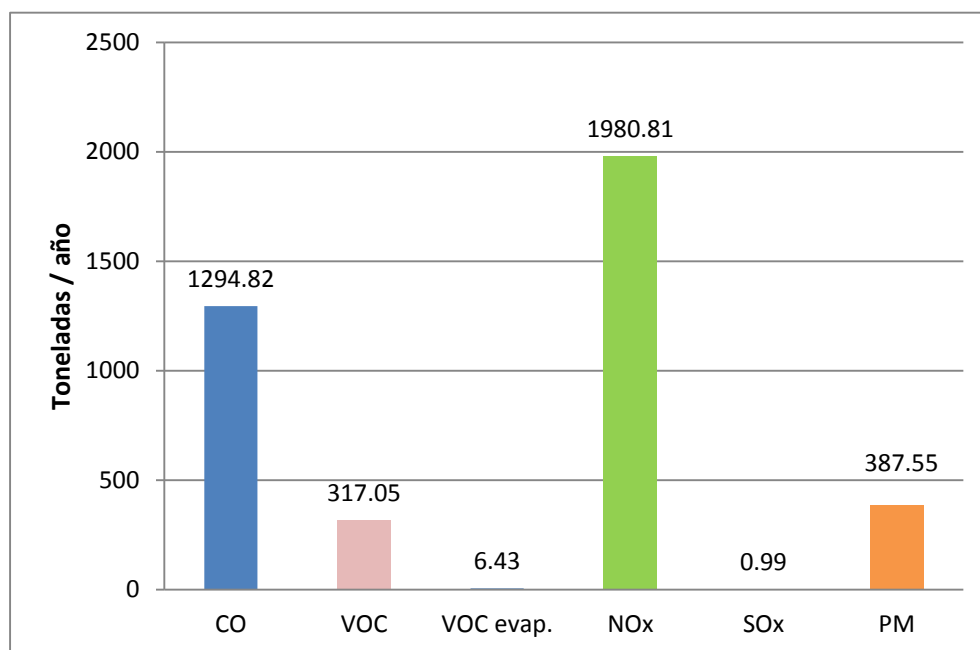
La caracterización antes descrita ya ha sido plasmada en el *programa IVE* en el capítulo V.

#### **Efectos de la caracterización del transporte público en el año 2014**

- La intervención de inspectores mejora, en parte, el control para respetar los paraderos de los buses.
- Existe un débil control a cargo de los centros de revisión técnicas implica que los vehículos obsoletos continúen circulando y al mismo continúen contaminando, por más que se cuente con un diesel menos contaminante.
- El 64% de la flota vehicular está compuesta por microbuses cuyas capacidades se encuentran por debajo de los 30 pasajeros. Solo el 36% de la flota corresponde a buses, cuya capacidad promedio es de 70 pasajeros. Estas cifras se deben revertir ya que mayor cantidad de microbuses contribuyen con la congestión vehicular.

El gráfico 12 muestra la cantidad de contaminantes criterio donde se aprecia que el NOx aún predomina con un alto porcentaje, aproximadamente 50%. Esto es debido, tal como se indica en la caracterización del 2014, que aún predominan vehículos antiguos y en pésimas condiciones.

**Gráfico 12. Total de Emisiones de Contaminantes Criterio en Lima Cuadrada (2014)**



Fuente: Elaboración Propia

### 5.3 Escenario 3: Caracterización del transporte público en el año 2019

Con este escenario se plantea una propuesta para mitigar las implicancias de la contaminación del aire en Lima Cuadrada a fin de corroborar la hipótesis planteada. Dentro de las principales propuestas tenemos:

- La normatividad de la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML) es más estricta respecto de los requisitos que deben cumplir las empresas para brindar el servicio de transporte urbano.
- Existe un sólido y autónomo organismo de regulación y fiscalización encargado del transporte público.



- Las actividades fundamentales de los agentes involucrados están respaldados en procedimientos específicos y acreditados con certificación ISO.
- El transporte público con una antigüedad mayor a 10 años se acogieron a los beneficios del Programa de chatarreo para fomentar la renovación del Parque Automotor.
- Se han eliminado los microbuses y los buses no tienen una edad mayor a 5 años y cuyo combustible es gas natural vehicular. Asimismo, los controles de revisiones técnicas se llevan a cabo cada 6 meses.
- Se está promoviendo el uso de autos particulares con tecnología que reduce emisiones contaminantes.
- Producción y comercialización a nivel nacional de diesel de buena calidad.
- El Estado ha promovido la ejecución de diversos sistemas de transportes masivos (Metropolitano, Tren Eléctrico).
- En mérito a la COP 20, el gobierno central ha promovido la concientización a nivel nacional respecto a conductas sobre la contaminación ambiental.

En la tabla 14 se muestra el resumen de índices del transporte público de Lima cuadrada (2019) con el uso del *programa IVE*, considerando la caracterización antes descrita.

**Tabla 14. Resumen de Índices (2019)**

Índices IVE (tecnologías)	993	994	995	996	997	998	Total
Nº de Vehículos por Índice	95	8	1	131	11	1	247
Km recorridos	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	
Km por tecnología	617.5	52	6.5	851.5	71.5	6.5	1605.5
Fracción de recorrido	0.385	0.032	0.004	0.530	0.045	0.004	1.000
Porcentaje	38.5%	3.2%	0.4%	53.0%	4.5%	0.4%	100.0%

*Fuente: Elaboración Propia*

Tabla 15. Archivo Flota (2019)

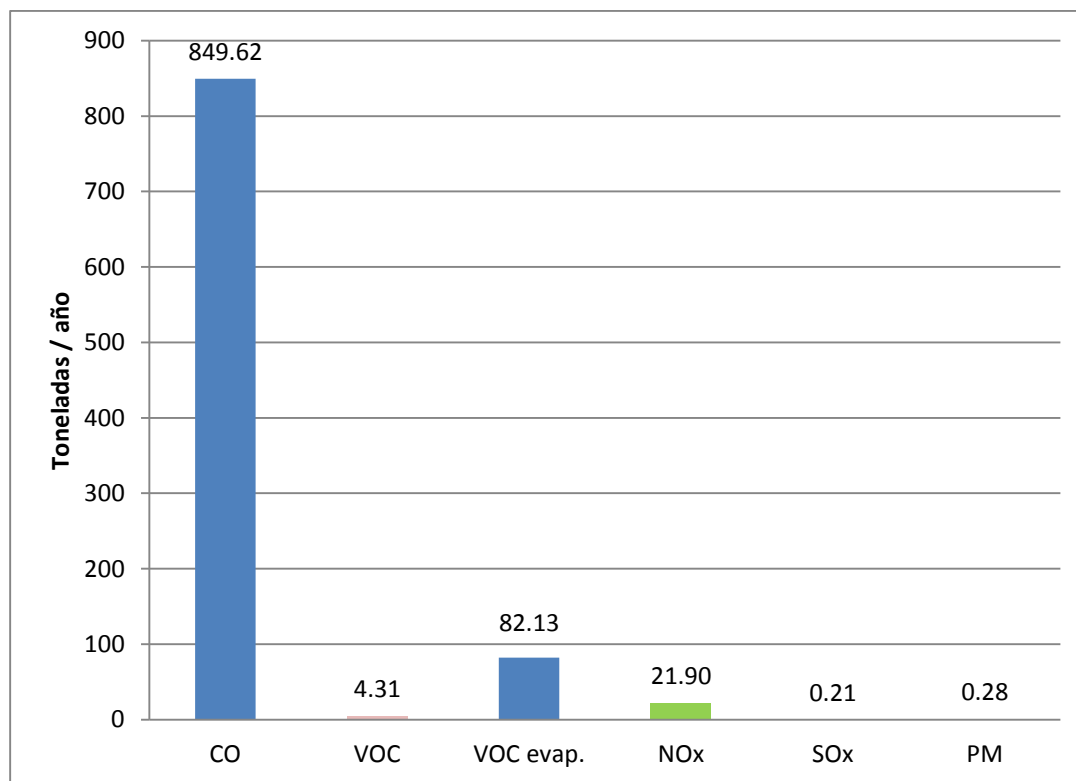
1	Fleet:	lima	1.0000	Weight	Air/Fuel Control	Exhaust Control	Evaporative Control	Age	Index	Fraction of Miles Driven Group 1 vehicles	Fraction with AC Group 1 vehicles	Fraction of Miles Driven Group 2 vehicles	Fraction with AC Group 2 vehicles
2	Description	Fuel	Weight	Air/Fuel Control	Exhaust Control	Evaporative Control	Age	Index	Fraction of Miles Driven Group 1 vehicles	Fraction with AC Group 1 vehicles	Fraction of Miles Driven Group 2 vehicles	Fraction with AC Group 2 vehicles	
988	Truck/Bus	Natural Gas	Medium	Carb/Misler	3-W/aj/EGR	PCV	80-161K km	985					
989	Truck/Bus	Natural Gas	Medium	Carb/Misler	3-W/aj/EGR	PCV	>161K km	986					
990	Truck/Bus	Natural Gas	Heavy	Carb/Misler	3-W/aj/EGR	PCV	<79K km	987					
991	Truck/Bus	Natural Gas	Heavy	Carb/Misler	3-W/aj/EGR	PCV	80-161K km	988					
992	Truck/Bus	Natural Gas	Heavy	Carb/Misler	3-W/aj/EGR	PCV	>161K km	989					
993	Truck/Bus	Natural Gas	Light	FI	3-W/aj/EGR	PCV	<79K km	990					
994	Truck/Bus	Natural Gas	Light	FI	3-W/aj/EGR	PCV	80-161K km	991					
995	Truck/Bus	Natural Gas	Light	FI	3-W/aj/EGR	PCV	>161K km	992					
996	Truck/Bus	Natural Gas	Medium	FI	3-W/aj/EGR	PCV	<79K km	993	0.3850				
997	Truck/Bus	Natural Gas	Medium	FI	3-W/aj/EGR	PCV	80-161K km	994	0.0320				
998	Truck/Bus	Natural Gas	Medium	FI	3-W/aj/EGR	PCV	>161K km	995	0.0040				
999	Truck/Bus	Natural Gas	Heavy	FI	3-W/aj/EGR	PCV	<79K km	996	0.5300				
1000	Truck/Bus	Natural Gas	Heavy	FI	3-W/aj/EGR	PCV	80-161K km	997	0.0450				
1001	Truck/Bus	Natural Gas	Heavy	FI	3-W/aj/EGR	PCV	>161K km	998	0.0040				
1002	Truck/Bus	Propane	Light	Carb/Misler	None	PCV	<79K km	999					
1003	Truck/Bus	Propane	Light	Carb/Misler	None	PCV	80-161K km	1000					
1004	Truck/Bus	Propane	Light	Carb/Misler	None	PCV	>161K km	1001					
1005	Truck/Bus	Propane	Medium	Carb/Misler	None	PCV	<79K km	1002					
1006	Truck/Bus	Propane	Medium	Carb/Misler	None	PCV	80-161K km	1003					
1007	Truck/Bus	Propane	Medium	Carb/Misler	None	PCV	>161K km	1004					
1008	Truck/Bus	Propane	Heavy	Carb/Misler	None	PCV	<79K km	1005					
1009	Truck/Bus	Propane	Heavy	Carb/Misler	None	PCV	80-161K km	1006					
1010	Truck/Bus	Propane	Heavy	Carb/Misler	None	PCV	>161K km	1007					
1011	Truck/Bus	Propane	Light	Carb/Misler	2-W/aj/EGR	PCV	<79K km	1008					
1012	Truck/Bus	Propane	Light	Carb/Misler	2-W/aj/EGR	PCV	80-161K km	1009					
1013	Truck/Bus	Propane	Light	Carb/Misler	2-W/aj/EGR	PCV	>161K km	1010					
1014	Truck/Bus	Propane	Medium	Carb/Misler	2-W/aj/EGR	PCV	<79K km	1011					
1015	Truck/Bus	Propane	Medium	Carb/Misler	2-W/aj/EGR	PCV	80-161K km	1012					
1016	Truck/Bus	Propane	Medium	Carb/Misler	2-W/aj/EGR	PCV	>161K km	1013					
1017	Truck/Bus	Propane	Heavy	Carb/Misler	2-W/aj/EGR	PCV	<79K km	1014					
1018	Truck/Bus	Propane	Heavy	Carb/Misler	2-W/aj/EGR	PCV	80-161K km	1015					
1019	Truck/Bus	Propane	Heavy	Carb/Misler	2-W/aj/EGR	PCV	>161K km	1016					

### Efectos de la caracterización del transporte público en el año 2019

- Mejora el flujo vehicular.
- La reducción del azufre en el diesel va de la mano con la modernización del parque automotor.
- Mejora la calidad de vida.
- Disminución de enfermedades respiratorias.

En el gráfico 13, obtenido de la aplicación del programa IVE, se observa que la cantidad de contaminantes criterio se reduce drásticamente, cuya reducción se debe al escenario optimista que se ha caracterizado en el punto anterior.

**Gráfico 13. Total de Emisiones de Contaminantes Criterio en Lima Cuadrada (2019)**



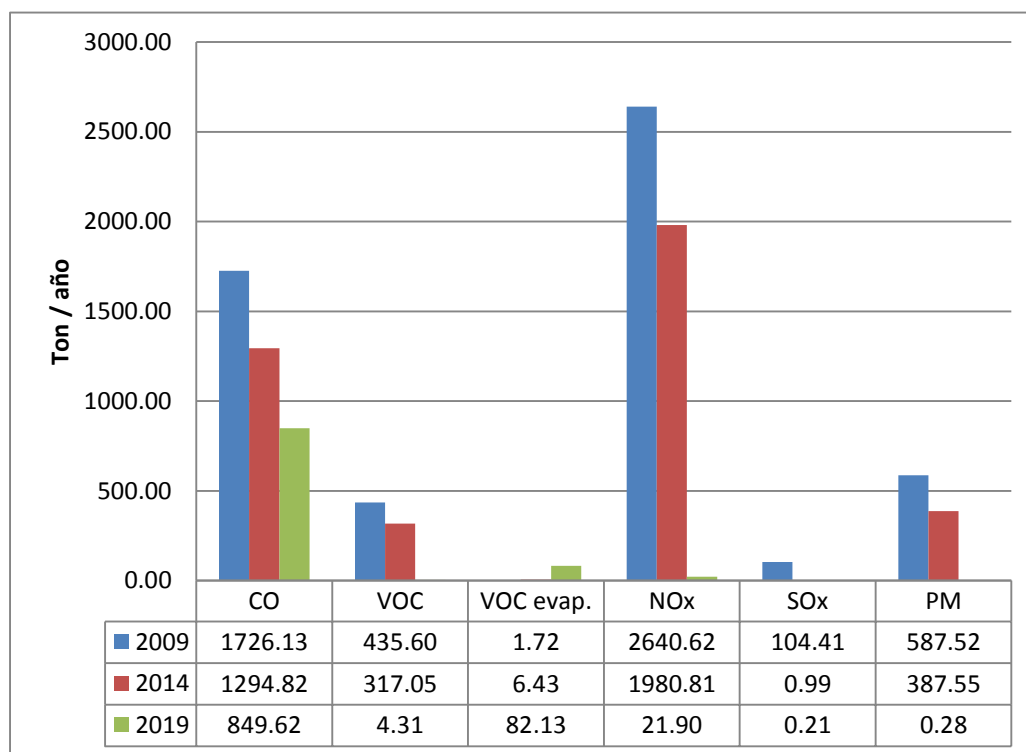
Fuente: Elaboración Propia

## 5.4 Comparación de Escenarios

Dado que los contaminantes criterio son aquellos que tienen el mayor impacto en la salud humana, en el gráfico 14 se muestra la comparación de sus emisiones en toneladas/año en los tres escenarios planteados y descritos en el punto anterior, como resultado de la aplicación del programa IVE.

Se observa que en el año 2014 la cantidad de CO y NOx se reduce aproximadamente 25% respecto al año 2009. En cuanto al PM (Material Particulado) en el año 2014 se reduce aproximadamente 30% respecto al año 2009, como consecuencia de las medidas tomadas por parte de las autoridades competentes. Mientras que en el año 2019, el panorama se ha tornado más favorable, bajo una situación más optimista reduciendo notablemente las emisiones.

**Gráfico 14. Comparación de Escenarios**



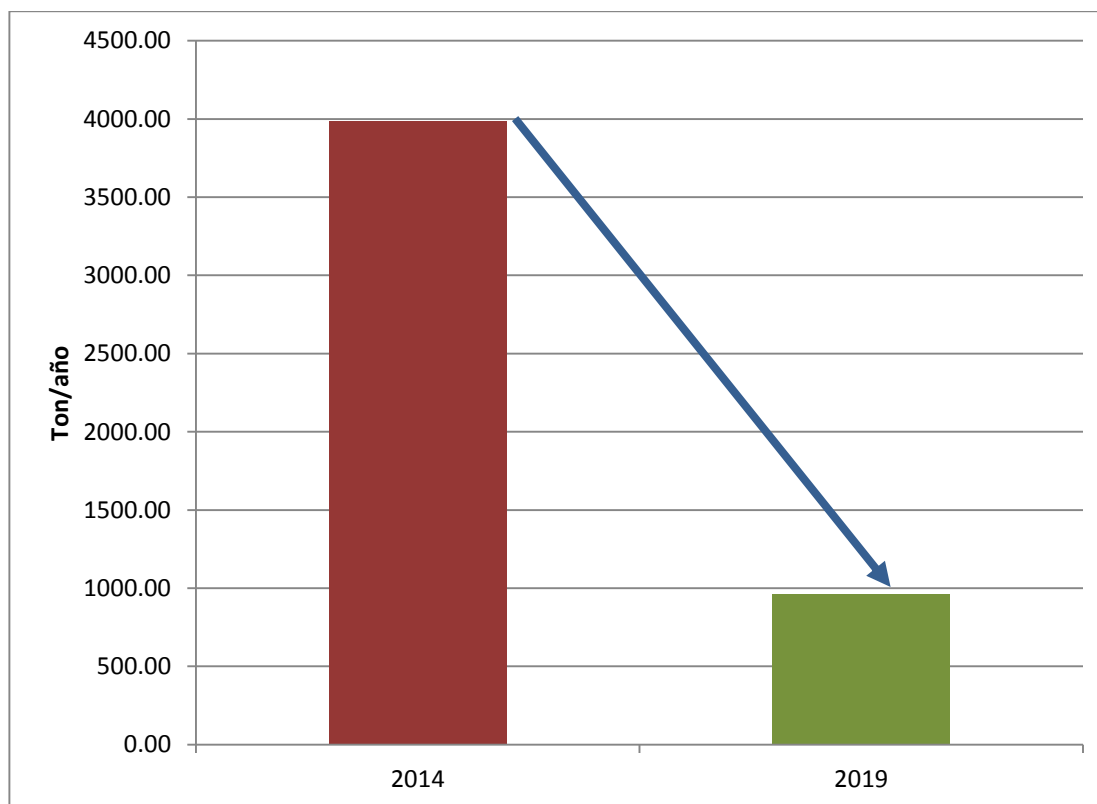
Fuente: *Elaboración Propia*

## 5.5 Comprobación de Hipótesis

Con el objeto de comprobar la hipótesis establecida en la presente investigación se ha tomado en consideración el hallazgo del mayor número de hechos, conclusiones o fenómenos que coinciden con lo expuesto en la hipótesis.

La demostración más valiosa en favor de la hipótesis planteada, son los datos obtenidos del programa IVE en los escenarios 2 y 3, correspondientes a los años 2014 y 2019, respectivamente, como se muestra en el gráfico 15. En dicho gráfico se aprecia una reducción sustantiva (pendiente negativa de color azul) de las emisiones contaminantes, y a la vez se confirma que es factible su mitigación.

**Gráfico 15. Mitigación de Emisiones Contaminantes**



*Fuente: Elaboración Propia*

## CAPÍTULO VI CONCLUSIONES

1. Se ha identificado que las principales causas de la contaminación del aire por efecto del parque automotor de transporte público son la congestión vehicular, el parque automotor obsoleto y el tipo de combustible; consecuentemente, es factible su mitigación.
2. Los resultados estadísticos muestran que a la fecha siguen circulando unidades de transporte público con promedio de 17 años, muchos carentes de mantenimiento, debido a un marco institucional débil que no permite optimizar la regulación y supervisión del transporte público.
3. La propuesta del escenario 2019 permite reducir notablemente el material particulado, el cual es el contaminante criterio más dañino para la salud humana.
4. La implementación y puesta en marcha del Proyecto de Modernización de la Refinería de Talara permitirá elevar la calidad del combustible del transporte público disminuyendo así significativamente los contaminantes criterio no solo de la ciudad de Lima sino también del resto del país, por un tema de inclusión social.
5. Al ser los patrones de conducción (congestión vehicular) uno de los insumos del software IVE se identifica su relación con la contaminación del aire.
6. La mejora de la calidad del combustible debe estar asociado a la renovación y modernización del transporte público, y de este modo incorporar tecnologías avanzadas de control de emisiones en los vehículos a diesel, tales como el uso de los filtros de partículas, entre otros.
7. Es factible minimizar las emisiones de gases contaminantes sobre la base de un trabajo articulado que tenga como soporte fundamental un marco institucional fuerte que permita regular y supervisar a todos los agentes que los involucra.

## CAPÍTULO VII RECOMENDACIONES

1. Las entidades competentes deben disponer acción en el más breve plazo sobre las causas que están originando la contaminación del aire con la finalidad de no continuar comprometiendo la salud de la población, conforme está establecido en nuestra Constitución.
2. Las universidades deben buscar el acercamiento ante entidades de solvencia técnica que promuevan el uso y capacitación, como por ejemplo del manejo del *software IVE* de la Universidad de California y de otras herramientas para preservar el aire, a través de acuerdos o convenios.
3. Si bien en mérito a la a la Ley N° 27806, "Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública", las entidades públicas están obligadas a promover la transparencia de los actos del Estado, éstas se deben perfeccionar. Por ejemplo, haciendo que dicha información se encuentre disponible y actualizada en un portal web.

## CAPÍTULO VIII BIBLIOGRAFÍA

ALFARO, María del Rosario

1998 *Contaminación del Aire, Emisiones vehiculares, situación actual y alternativas*. Primera edición, San José, Costa Rica.

AMBIOSIS S.A.

2007 Estimación de Emisiones Contaminantes Atmosféricas a partir de la Encuesta Nacional Industrial Anual para alimentar el Registro Nacional de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (Retc). Santiago de Chile.

BLUMBERG Katherine, WALSH Michael, PERA Charlotte

2003 Gasolina y diesel de bajo azufre: la clave para disminuir las emisiones vehiculares. Versión final en español, mayo de 2003. Consulta: marzo 2014.  
<[http://www.theicct.org/sites/default/files/Bajo\\_Azufre\\_ICCT\\_2003.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/Bajo_Azufre_ICCT_2003.pdf)>

CAF – BANCO DE DESARROLLO DE AMÉRICA LATINA

2011 Desarrollo urbano y movilidad en América Latina. Págs. 225-226.

DEFENSORÍA DEL PUEBLO

2006 Informe Defensorial N° 116: La calidad del aire en Lima y su impacto en la salud y la vida de sus habitantes. Publicado en diciembre de 2006.

DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL (DIGESA)

2005 Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos

DIRECCIÓN GENERAL DE TRANSPORTE EN COLOMBIA.

2000 El Parque Automotor de Transporte en Colombia. Bogotá. Noviembre. Publicado en noviembre de 2000.

GIRALDO AMAYA, Liliana

2005 Tesis: “Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes”. Universidad de los Andes. Colombia.



GORHAM, Roger

2002 Air pollution from ground Transportation: An assessment of causes, strategies and tactics, and proposed actions for the international community. Department of Economic and Social Affairs. United Nations.

HERRERA MONTAÑEZ, Dayana

2007 Tesis de grado: "Modelo de Emisiones Vehiculares para la ciudad de Bogotá". Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN (INEI)

2008 Informe Técnico de Estadísticas Ambientales. Consulta: 15 de octubre de 2012  
<<http://www.inei.gob.pe/>>

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (IISD)

2005 Getting on Track: Finding a path for Transportation in the CDM. Final Report.  
<[http://www.iisd.org/pdf/2005/climate\\_chile\\_getting\\_on\\_track.pdf](http://www.iisd.org/pdf/2005/climate_chile_getting_on_track.pdf)>. Consulta: 6 de Julio de 2012.

KORC, MARCELO

1999 Monitoreo de la Calidad del Aire en América Latina. Programa de Control de Contaminación del aire.

MINISTERIO DE TRANSPORTES y COMUNICACIONES (MTC)

2012 Estadísticas. Consulta: 5 de abril de 2012  
<<http://www.mtc.gob.pe/portal/inicio.html>>

O'RYAN, RAÚL, LARRAGUIBEL LUIS

2000 Contaminación del aire en Santiago: Estado actual y Soluciones. Santiago de Chile.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS)

1969 Contaminación del Aire en el Medio Urbano particularmente por vehículos de motor. Serie de Informes Técnicos N° 410. Informe de un Comité de Expertos de la OMS. Ginebra.

PUGLIESE N.I.

2008 Artículo: Contaminación del aire por Emisiones Vehiculares. Ciudad de Rawson. Provincia de San Juan. Argentina.

RIGOBERTO ANGULO M., MARIO PATIÑO A

2006 Medición y Evaluación de la Calidad del Aire en los Sectores de Fertisa y Tinitaria de la Ciudad de Guayaquil debido a la Presencia de Material Particulado Menor a 10 y 2.5 um. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Guayaquil - Ecuador.

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

2009 Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana. Publicación Técnica N° 322

## ANEXO 1

## ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DEL DIESEL B5-S50

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES		MÉTODOS DE ENSAYO
	Mínimo	Máximo	ASTM
<b>VOLATILIDAD</b>			
Destilación (a 760 mmHg)			D 86
90% recuperado, °C	282	360	
Punto de inflamación Pensky Martens, °C	52		D 93
Densidad a 15 °C, kg/m <sup>3</sup>	Reportar		D 1298 D 4052
<b>FLUIDEZ</b>			
Punto de escurrimiento, °C (B)		4	D 97
Viscosidad cinemática a 40 °C, cSt	1,9	4,1	D 445
<b>CORROSIVIDAD</b>			
Corrosión lámina de cobre 3 h a 50 °C		3	D 130
<b>COMPOSICIÓN</b>			
Residuo de carbón Ramsbottom 10% fondos, %m (a)		0,35	D 524 D 189
Índice de cetano	45		D 4737
Número de cetano	45		D 613
Cenizas, % masa		0,01	D 482
Azufre total, mg/kg (ppm)		50	D 4294 D 5453 D 2622
<b>CONTAMINANTES</b>			
Agua y Sedimentos, % V		0,05	D 1796 D 2709
Cenizas, % peso		0,01	D 482
<b>LUBRICIDAD</b>			
Lubricidad, HFRR a 60°C, micrones		520	D 6079
<b>REQUERIMIENTOS DE OPERATIVIDAD</b>			
CFPP (POFF), °C		-8	D 6371
<b>CONDUCTIVIDAD</b>			
Conductividad, pS/m	25		D 2624 D 4308
<b>BIODIESEL 100 (B100)</b>			
Contenido de B100, % Vol	5,0		

Fuente: Elaboración Propia

(a) El método ASTM D-524: Residuo de Carbón Ramsbottom sirve para determinar la tendencia de un combustible a depositar carbón al ser calentado en un bulbo bajo condiciones prescritas. Sin embargo, la norma ASTM D524 indica que esta prueba, si bien no está directamente correlacionada con los depósitos en el motor, esta propiedad se considera una aproximación.

De otro lado, en el libro Book Diesel and High Compression Gas Engines by Edgar Kates and William Luck del año 2003, se sostiene que la cantidad permitida de residuo carbonoso depende ampliamente del tamaño y velocidad de cada motor, siendo mayor para los motores lentos y grandes que para los rápidos y pequeños.

En la siguiente tabla se muestra resultados, proporcionados por CERTIPETRO (Centro de Certificación, Inspección y Ensayos de Productos Petroleros, Gas Natural y Derivados), de algunas pruebas realizadas a un diesel ultra bajo de azufre el cual cumple con las especificaciones técnicas de la legislación peruana vigente y guarda concordancia con los estándares internacionales ASTM.

ITEM	CENIZAS % MASA	CARBON RAMSBOTTOM % MASA	PFD °C	PRODUCTO
1	0.001	0.08	355.0	DIESEL 2 -ULSD
2	0.001	0.08	353.0	DIESEL 2 -ULSD
3	0.001	0.09	360.5	DIESEL 2 -ULSD
4	0.001	0.08	359.5	DIESEL 2 -ULSD
5	0.001	0.07	352.0	DIESEL 2 -ULSD
6	0.001	0.08	358.0	DIESEL 2 -ULSD
7	0.001	0.08	353.0	DIESEL 2 -ULSD
8	0.001	0.08	361.0	DIESEL 2 -ULSD
9	0.001	0.08	352.0	DIESEL 2 -ULSD
10	0.001	0.10	362.0	DIESEL 2 -ULSD

## ANEXO 2

## ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DEL BIODIESEL (B100)

Propiedad	Método de Ensayo (a)	Biodiesel B100	Unidades
Contenido de calcio y magnesio, combinado	EN 14538	5 Máx.	Ppm
Punto de inflamación (copa cerrada)	ASTM D 93	93 mín.	°C
Control de alcohol (uno de los siguientes debe ser cumplido)			
1. Contenido de Metanol	EN 14110	0,2 Máx.	% volumen
2. Punto de inflamación	ASTM D 93	130,0 mín.	°C
Agua y sedimento	ASTM D 2709	0,050 Máx.	% volumen
Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM D 445	1,9 – 6,0 (b)	mm <sup>2</sup> /s
Ceniza sulfatada	ASTM D 874	0,02 Máx.	% masa
Azufre (c)	ASTM D 5453	0,0015 Máx.	% masa (ppm)
Corrosión a la lámina de cobre	ASTM D 130	N° 3	
Número de cetano	ASTM D 613	47 mín.	
Punto nube	ASTM D 2500	Reportar (d)	°C
Residuo de carbón (e)	ASTM D4530	0,050 Máx.	% masa
Número de acidez	ASTM D 664	0,50 Máx.	Mg KOH/g
Glicerina libre	ASTM D 6584	0,020 Máx.	%masa
Glicerina total	ASTM D 6584	0,240 Máx.	%masa
Contenido de fósforo	ASTM D 4951	0,001 Máx.	% masa
Temperatura de destilación. Temperatura del 90% de recuperado equivalente a presión atmosférica.	ASTM D1160	360 Máx.	°C
Contenido de sodio y potasio	EN 14538	5 Máx.	ppm (µg/g)
Estabilidad de oxidación	EN 14112	3 mín.	horas

Fuente: NTP 321.125 2008

- (a) Los métodos de ensayo indicados son los aprobados como métodos dirimentes.
- (b) El límite de viscosidad de 6,0 mm<sup>2</sup>/s es mayor que el del combustible diesel derivado del petróleo lo que debe tomarse en cuenta cuando se mezclan, o cuando se use como B100 puro.

- (c) Pueden ser de aplicación otras limitaciones del contenido de azufre en determinadas áreas del territorio nacional.
- (d) El punto de nube del biodiesel es generalmente mayor que el del combustible diesel derivado del petróleo lo que debe tomarse en cuenta cuando se mezclan, o cuando se use como B100 puro.
- (e) El residuo de carbón debe ser realizado sobre el 100% de la muestra.

## ANEXO 3

## FOTOGRAFÍAS VARIADAS

Congestión vehicular en la Avenida Abancay



Punto de aforo en la cuadra 1 de la Avenida Tacna



Punto de aforo en la cuadra 1 de la Avenida Abancay





ANEXO 4

Imagen de información solicitada a la Municipalidad Metropolitana de Lima

ABANCAY Y TACNA FINAL - Microsoft Excel

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
PLACA	AVENIDA	NOMBRE CLASE	GTU	MARCA	MODELO	AÑO FABRICACION	LONGITUD	NUMERO ASI	ID TARIETA	FECHA VENC	ID RUTA	RUC	RAZON SOCIAL	COMBUSTIBLE	ANCHO	NUMERO PUB	CAPACIDAD	PESO BRU		
1	AZET06	ABANCAY	MICROBUS	NISSAN	CIVILIAN	1987	26	6.600	26	P00008106	01/07/2012	EM13	20123526389E	UNIDOS S	PETROLEO	9.020	1	25	3.6	
2	A3719	ABANCAY	MICROBUS	HINO	P-4B115A	1987	26	6.500	28	P00008107	01/07/2012	EM13	20123526389E	UNIDOS S	PETROLEO	2.200	2	27	5.1	
3	A5748	ABANCAY	OMNIBUS	NISSAN	BLGH40NSH	1986	17	6.940	30	P00008109	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	1.980	2	29	5.2	
4	A50777	ABANCAY	OMNIBUS	NISSAN	CIVILIAN	1990	23	5.920	28	P00008110	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	1.980	1	27	4.6	
5	A50781	ABANCAY	OMNIBUS	TOYOTA	COASTER	1989	24	6.600	25	P00008111	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.000	1	24	5.1	
6	A60775	ABANCAY	MICROBUS	MAZDA	T-3500	1991	22	7.200	25	P00008112	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.000	2	24	6.1	
7	A60779	ABANCAY	OMNIBUS	DENWAY	G26750E	2010	3	7.500	28	P00008113	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.020	2	27	7.0	
8	B02786	ABANCAY	MICROBUS	ASIA	BRAND COMBI	1988	25	6.330	20	P00008114	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.200	2	19	5.2	
9	B27755	ABANCAY	MICROBUS	ASIA	COMBI	1988	25	6.600	25	P00008115	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.300	1	24	6.2	
10	B31965	ABANCAY	MICROBUS	MITSUBISHI	CANTER AUTO	1990	23	6.500	27	P00008117	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.300	1	26	4.4	
11	H10756	ABANCAY	OMNIBUS	TOYOTA	COASTER	1985	28	5.900	26	P00008118	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	1.960	2	25	3.1	
12	B3K781	ABANCAY	OMNIBUS	ASIA	COMBI	1987	26	6.000	26	P00008119	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.300	2	25	4.5	
13	A07778	ABANCAY	OMNIBUS	TOYOTA	N-8821	1984	29	5.980	22	P00008120	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.510	2	21	4.5	
14	B3L712	ABANCAY	OMNIBUS	SUZUKI	JOURNEY	1986	27	5.450	26	P00008122	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	1.850	2	25	3.4	
15	B3F736	ABANCAY	OMNIBUS	TOYOTA	COASTER	1985	28	7.100	29	P00008121	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.400	2	28	6.0	
16	B3P725	ABANCAY	MICROBUS	TOYOTA	COASTER	1989	24	6.500	29	P00008123	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.300	2	28	3.8	
17	B47740	ABANCAY	MICROBUS	NISSAN	CIVILIAN	1989	24	6.400	21	P00008130	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.020	2	25	4.6	
18	B10752	ABANCAY	MICROBUS	HYUNDAI	CHORUS STD	1984	19	6.350	25	P00008125	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.000	1	17	4.5	
19	B3N712	ABANCAY	OMNIBUS	ASIA	COMBI	1988	25	7.200	28	P00008135	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.200	2	25	5.2	
20	B3N728	ABANCAY	OMNIBUS	ASIA	COMBI	1988	25	6.600	25	P00008138	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.800	2	24	4.5	
21	B3N730	ABANCAY	MICROBUS	ASIA	COMBI	1988	25	6.600	26	P00008127	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.000	1	25	3.0	
22	B3N733	ABANCAY	OMNIBUS	TOYOTA	COASTER	1985	28	6.500	26	P00008136	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.200	1	25	4.3	
23	B3O726	ABANCAY	OMNIBUS	TOYOTA	COASTER	1988	25	6.700	26	P00008126	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.000	2	25	6.4	
24	B3K726	ABANCAY	OMNIBUS	MITSUBISHI	ROSA	1988	25	6.700	26	P00008131	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.000	2	25	5.6	
25	B3N798	ABANCAY	MICROBUS	NISSAN	CIVILIAN	1988	25	6.650	29	P00008139	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.000	1	28	5.0	
26	B3L713	ABANCAY	OMNIBUS	ASIA	COMBI	1989	24	6.000	24	P00008129	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.000	2	23	6.2	
27	B3O741	ABANCAY	OMNIBUS	TOYOTA	COASTER	1984	29	8.000	27	P00008124	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.500	2	26	4.3	
28	B3M759	ABANCAY	OMNIBUS	ASIA	COMBI	1990	23	6.200	25	P00008128	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.400	2	25	5.2	
29	B3K773	ABANCAY	OMNIBUS	NISSAN	AC540	2006	7	10.910	39	P00008157	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	GAS	2.490	2	38	17.7	
30	B3O760	ABANCAY	OMNIBUS	NISSAN	CIVILIAN	1989	24	8.000	27	P00008151	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.000	2	26	4.6	
31	B3O767	ABANCAY	OMNIBUS	MITSUBISHI	CIVILIAN	1987	26	6.200	27	P00008146	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.100	2	26	5.8	
32	B3O790	ABANCAY	MICROBUS	MITSUBISHI	ROSA	1991	22	6.000	27	P00008154	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.000	1	26	4.5	
33	B3F707	ABANCAY	MICROBUS	HYUNDAI	MIGHTY	1991	22	5.800	24	P00008156	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.200	1	27	5.5	
34	B3E764	ABANCAY	MICROBUS	NISSAN	CIVILIAN	1991	22	7.000	28	P00008153	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.200	1	23	4.5	
35	B3E765	ABANCAY	MICROBUS	MITSUBISHI	ROSA	1984	29	6.900	30	P00008142	01/07/2012	EM13	20123526389E	ET. UNIDOS S	PETROLEO	2.500	2	27	4.0	