

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE LOS
CONTAMINANTES LOCALES DEL AIRE PROCEDENTES DEL PARQUE
AUTOMOTOR PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

INCA TITO, LIZ THALIA

**Villa El Salvador
2019**

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios y a mi santito Niño Victor Poderoso, por haberme guiado por el buen camino en cada paso de mi vida, así mismo por jamás haber permitido que me rinda en mi etapa universitaria y por ayudarme a sobrepasar los obstáculos que se me presentaban en mi camino.

A los amores y motores de mi vida que han sido la parte fundamental de todo este camino, mi madre Silvia Tito Flores que siempre estuvo cuidándome en todo momento y por qué me enseñó a ser luchadora e independiente en esta vida, además porque siempre me ha defendido y jamás ha dejado de creer en mí.

A mi padre Andrés Inca Quispe un hombre muy perseverante, luchador en la vida y que siempre ha conseguido lograr sus metas. Además por enseñarme que siempre en la vida hay que ser arriesgado, porque como dice la frase el que no arriesga no gana y que siempre hay que terminar con lo que se empieza.

A mis hermanas Karen Inca Tito y Nicoll Inca Tito, que son los motores de mi vida y que por ellas siempre quiero ser una mejor persona, también enseñarles que jamás se rindan por nada ni por nadie y que siempre sean luchadoras.

A mi familia en general que espero y se sientan orgullosos de mí. También ha aquellas personas que siempre han estado apoyándome y alentándome en las etapas de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradecer en primer lugar a Dios y mi santito Niño Victor Poderoso por jamás haber permitido que me rindiera y por haberme cruzado en mi vida con personas tan maravillosas que han sido un gran apoyo para mí en lo personal y profesional.

A mis padres por siempre haberme dado su apoyo incondicional, por haberme cuidado, por darme buenos valores, por sus consejos, por siempre haber creído en mí y espero que hoy en día se sientan muy orgullosos de mí. Decirles que cada logro mío es de ellos también y que los amo mucho.

A mis hermanas porque siempre confían en mí y siempre me apoyan en lo que necesito.

A mis tíos, primos, a mi compañero de vida que siempre me da su apoyo cuando lo necesito.

Al Ph. D Ing. Odón Sánchez Román Ccoyllo por brindarme su asesoramiento, su apoyo e interés en el presente trabajo.

Doy gracias también al Ing. Luis Antonio Ibáñez Guerrero por sus enseñanzas ya que sin él no hubiese sido posible este trabajo, también por el apoyo constante que me da en mi etapa profesional y porque me ha permitido conocer personas maravillosas que han contribuido con mis conocimientos

A la Ing. Liliana Loayza por creer en mí, por los consejos y por el apoyo.

Por último a todas las personas que de una u otra forma han sido parte de este trabajo. Muchas gracias a todos, los quiero.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Descripción de la Realidad Problemática	2
1.2. Justificación del problema	4
1.3. Delimitación del proyecto	4
1.3.1. Teórica	4
1.3.2. Temporal	5
1.3.3. Espacial	5
1.4. Formulación del Problema	5
1.4.1. Problema General	5
1.4.2. Problemas específicos	5
1.4.3. Objetivo General	6
1.4.4. Objetivos específicos	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes	7
2.1.1. Antecedentes Nacionales	7
2.1.2. Antecedentes Internacionales	14
2.2. Bases Teóricas	17
2.2.1. Políticas de Combustible	17
2.2.2. Gasolina y Gasohol	20
2.2.3. Diésel	20
2.2.4. Estándares de emisiones de los vehículos	23
2.2.5. Contaminación del aire	25
2.2.6. Tipos y fuentes de contaminantes atmosféricos	27
2.2.7. Tipos de Contaminantes	28
2.2.8. Principales Contaminantes de la Atmósfera	29
2.2.9. Inventario de Emisiones	31
2.2.10. Factor de emisión	32
2.2.11. Parque automotor de Lima Metropolitana y Callao	33
2.3. Definición de términos	34

CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL	36
3.1. Tipo de investigación	36
3.2. Diseño de la investigación	36
3.3. Enfoque	36
3.4. Equipo e información requerida	37
3.5. Escenarios propuestos	38
3.6. Metodología	40
3.6.1. Para emisiones de PM _{2,5} , NO _x , BC, CO y HC	42
3.6.2. Para emisiones de SO ₂	43
3.6.3. Para emisiones de CO ₂	44
3.7. Resultados	45
3.7.1. Concentración del contaminante PM _{2,5} y sus escenarios	45
3.7.2. Concentración del contaminante NO _x y sus escenarios	47
3.7.3. Concentración del contaminante CO y sus escenarios	48
3.7.4. Concentración del contaminante HC y sus escenarios	50
3.7.5. Concentración del contaminante BC y sus escenarios	52
3.7.6. Concentración del contaminante CO ₂ y sus escenarios	54
3.8. Discusión	58
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	67
Anexo 1. Factores de emisión de EMEP para diésel y gasolina	67

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Concentración del azufre en el combustible diésel en Perú.....	22
Figura 2. Cantidad de las emisiones del PM _{2,5} y sus escenarios	45
Figura 3. Cantidad de las emisiones del NO _x y sus escenarios	47
Figura 4. Cantidad de las emisiones del CO y sus escenarios	49
Figura 5. Cantidad de las emisiones del HC y sus escenarios	51
Figura 6. Cantidad de las emisiones del BC y sus escenarios.....	53
Figura 7. Cantidad de las emisiones del CO ₂ y sus escenarios	55
Figura 8. Cantidad de las emisiones del SO ₂ y sus escenarios	56

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma de instrumentos normativos vinculados a la calidad de combustibles	18
Tabla 2. Porcentaje de la mezcla de Biodiesel B100 con Diésel N° 2	21
Tabla 3. Evolución de la norma EURO para vehículos nuevos livianos importados en el Perú	24
Tabla 4. Evolución de la norma EURO para vehículos nuevos pesados importados en el Perú	24
Tabla 5. Escenarios propuestos para Lima Metropolitana y Callao	39
Tabla 6. Cantidad de las emisiones del contaminante PM _{2,5} , según su escenario ...	45
Tabla 7. Cantidad de las emisiones del contaminante NO _x , según su escenario	47
Tabla 8. Cantidad de las emisiones del contaminante CO, según su escenario	48
Tabla 9. Cantidad de las emisiones del contaminante HC, según su escenario	50
Tabla 10. Cantidad de las emisiones del contaminante BC, según su escenario	52
Tabla 11. Cantidad de las emisiones del contaminante CO ₂ , según su escenario ...	54
Tabla 12. Cantidad de las emisiones del contaminante SO ₂ , según su escenario	56
Tabla 13. Factores de emisión ajustados para vehículos a Diésel B5	67
Tabla 14. Factores de emisión para vehículos a chispa	68
Tabla 15. Factores de correlación para vehículos a gasolina	69
Tabla 16. Factores de correlación para vehículos a diésel	70
Tabla 17. Porcentaje de BC en PM	71
Tabla 18. Porcentaje del estándar de emisión, según el escenario AA	72
Tabla 19. Porcentaje del estándar de emisión, según el escenario BA	73
Tabla 20. Porcentaje del estándar de emisión, según el escenario BA-AO	75
Tabla 21. Porcentaje del estándar de emisión, según el escenario UBA	77
Tabla 22. Distribución de categorías vehiculares para Lima Metropolitana y Callao (2016)	78
Tabla 23. Participación porcentual en Vehículos por tipo de combustible -2016	78
Tabla 24. Cantidad de Vehículos por tipo de combustible-2016	79
Tabla 25. Recorridos promedios por vehículo (km/año)-2016	79

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Lima Metropolitana y Callao, el parque automotor ha ido creciendo en un promedio de 6% anualmente (INEI, 2016). Además el parque automotor genera ciertos contaminantes como material particulado ($PM_{2,5}$), óxidos de nitrógenos (NO_x), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y black carbón (BC), que son emitidos a la atmósfera.

Así mismo, se genera una contaminación atmosférica que representa un importante riesgo para la salud pública como cáncer de pulmón, asma y otras enfermedades; según el Organismo Mundial de la Salud (OMS, 2016).

Es por ello que, el desarrollo del presente trabajo consistió en estimar las cantidades de las emisiones emitidas por los contaminantes ($PM_{2,5}$, NO_x , CO, HC, BC, SO_2 y CO_2) del parque automotor de Lima Metropolitana y Callao. Además el inventario de emisiones es realizado en base al año 2016 y a la metodología de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, según sus siglas en inglés).

También se realizó diversas variaciones en la calidad de combustible, en el factor de emisión y en los estándares de emisiones (euros).

Además se propuso escenarios con diversas cantidades de azufre, siendo denominados como Alto Azufre (AA), bajo azufre (BA), Bajo Azufre- Bajo Octanaje (BA-BO) y Ultra Bajo Azufre (UBA), en base a los años 2018,2022 y 2030.

Por otro lado, los resultados de la cantidad de emisiones y la variación de los escenarios propuestos son mostrados mediante gráficas.

Finalmente se brindan algunas recomendaciones para disminuir la cantidad de emisiones generadas por el parque automotor.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

En el mundo aproximadamente 7 millones de personas mueren prematuramente a causa de la contaminación del aire (ONU, 2019).

Además la contaminación del aire puede ser de origen natural o por las actividades humanas que generan grandes contaminantes como la quema de combustibles, residuos de combustión de carros, tráfico del parque automotor, humo y entre otros (UNICEF, 2016).

Por otro lado Herrera, Rodríguez y Rojas (2012) indican que las emisiones de los vehículos están compuestas por contaminantes como el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado (PM). Siendo así estos contaminantes los que más generan daño a la salud humana.

Así mismo, Según el informe aire limpio para los niños de la institución Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF, según su siglas en inglés) nos indica que altos niveles de SO₂ generan en la salud humana problemas respiratorios como tos, bronquitis crónica, mucosidades y asma; mientras que los óxidos de nitrógeno (NO_x) pueden inducir al empeoramiento de la neumonía, bronquitis, asma y reducción de la capacidad pulmonar.

En tanto el monóxido de carbono (CO) obstruye el paso del oxígeno a las células causando mareos, dolor de cabeza, estado de inconciencia y náuseas. A su vez el material particulado 2,5 causa cáncer de pulmón, irritación de ojos y síntomas respiratorios severos.

Además según el informe del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM, 2007), la atmósfera tiene como principal gas de efecto invernadero (GEI) al dióxido de carbono (CO₂).

Por otra parte, según la Organización Mundial de Salud 12,6 millones de personas mueren al año a causa de los riesgos ambientales ligados al agua, aire y productos químicos (OMS, 2018).

Del mismo modo el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM) hoy en día conocido como Ministerio del Ambiente, elaboró un informe de la calidad del aire en Lima y su impacto en la salud y la vida de sus habitantes, lo cual nos indica que la ciudad de Lima está teniendo impactos de factores que están afectando negativamente a la calidad de aire y que la antigüedad de los vehículos del parque automotor contribuyen con la degradación de la calidad de aire.

A su vez la Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Vehiculares en el año 2013, indica que las emisiones producidas por los vehículos son debido a una serie de factores tales como la antigüedad del vehículo, kilómetros recorridos, calidad del combustible, la tecnología y entre otros.

Por consiguiente en el año 2016 el Ministerio del Ambiente realizó un estudio de desempeño ambiental (2003-2013) en donde afirma que el 31% de la población se encuentra en Callao y Lima metropolitana. Además indican que el parque automotor nacional junto a las industrias genera liberación de contaminantes a la atmósfera.

1.2. Justificación del problema

La importancia de realizar el presente estudio radica en tener conocimiento de la cantidad de emisiones que generan los contaminantes siguientes: material particulado 2,5 ($PM_{2,5}$), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), black carbón (BC), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de carbono (CO_2), los cuales son emitidos por el parque automotor de Lima Metropolitana y Callao.

Además cabe resaltar que dichos contaminantes son perjudiciales para la salud humana y el ambiente.

Por otro lado los resultados del presente estudios servirán para los estudios de las entidades competentes como el Ministerio de Transporte, Ministerio del Ambiente u otras. Con el fin de tomar acciones respecto al parque automotor de Lima Metropolitana y Callao.

1.3. Delimitación del proyecto

1.3.1. Teórica

El presente estudio tiene como finalidad conocer las cantidades de las emisiones de los contaminantes siguientes: $PM_{2,5}$, NO_x , CO, HC, BC, SO_2 y CO_2 . Los cuáles fueron obtenidos mediante un inventario de emisiones teniendo como año base al 2016 y son representados mediante gráficas. Así mismo, se desarrollaran cuatros escenarios emisiones y también serán representados en gráficas.

1.3.2. Temporal

El presente estudio se realizó durante el mes de marzo entre los días 5 y 20 de Marzo del 2019, desarrollando durante esos días los cálculos del inventario de emisiones.

1.3.3. Espacial

La ciudad de Callao se encuentra situada en la provincia constitucional del Callao y ubicada en el centro oeste del Perú. Mientras que la ciudad de Lima Metropolitana está situada en la parte central de la capital del Perú.

1.4. Formulación del Problema

1.4.1. Problema General

¿Cuáles serán las diferencias de los inventarios anteriores con el que se va determinar las cantidades de las emisiones de los contaminantes ($PM_{2,5}$, NO_x , CO, HC, BC, SO_2 y CO_2) locales del aire procedentes del parque automotor del área Lima Metropolitana y Callao?

1.4.2. Problemas específicos

¿Cuáles son las actuales cantidades de las emisiones de los contaminantes ($PM_{2,5}$, NO_x , CO, HC, BC, SO_2 y CO_2) locales del aire, procedentes del parque automotor del área Lima Metropolitana y Callao?

¿Cuáles son los escenarios propuestos para los contaminantes locales del aire, procedentes del parque automotor del área Lima Metropolitana y Callao?

1.4.3. Objetivo General

Determinar las diferencias de los inventarios anteriores con las cantidades de las emisiones de los contaminantes ($PM_{2,5}$, NO_x , CO, HC, BC, SO_2 y CO_2) locales del aire procedentes del parque automotor del área Lima Metropolitana y Callao.

1.4.4. Objetivos específicos

Actualizar las emisiones de los contaminantes ($PM_{2,5}$, NO_x , CO, HC, BC, SO_2 y CO_2) procedentes del parque automotor para el área Lima Metropolitana y Callao.

Evaluar los escenarios de Alto Azufre (AA), Bajo Azufre (BA), Bajo azufre- Alto Octanaje (BA-AO) y Ultra Bajo Azufre (UBA) para los años 2018, 2022 y 2030; para los contaminantes del aire procedentes del parque automotor para el área Lima Metropolitana y Callao.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Nacionales

Hilario (2017), expuso la tesis *“Emisiones contaminantes de vehículos del distrito de Huancayo”* utilizando el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE) con el fin de optar el grado académico de doctora en ciencias ambientales y desarrollo sostenible en la Universidad Nacional del Centro del Perú concluyendo en que:

Mediante el uso del software Speed Analysis Evaluation y las unidades de posicionamiento global satelital (GPS) se obtuvo los patrones de conducción de las diversas categorías vehiculares.

Por lo cual se realizó el procesamiento de la información recopilada y se obtuvo 44 511,4 toneladas anuales de contaminantes de lo cual el CO emite una mayor proporción de 36 348,4 Tm/año y el SO_x emitió 138,8 Tn/año.

Mientras que los gases de efecto invernadero emiten 255 824,9 toneladas anuales, el dióxido de carbono (CO₂) en mayor proporción de 255 047,4 Tm/año, en donde el vehículo que más aporta contaminantes es el automóvil.

Valencia (2017), trabajó en la elaboración de la tesis *“Efecto de medidas administrativas en la reducción de las emisiones de contaminantes criterio por fuentes móviles vehiculares, sector 2 - Villa el Salvador, 2016”* en la Universidad Científica del Sur, mediante la cual concluye que usando la metodología del proyecto IVE MODEL (International Vehicle Emissions Model) aplicado en Lima, el parque automotor de la categoría I (automóviles, moto taxis y motos lineales) del sector 2 de Villa el Salvador emite un total de 2753 kg/día de CO, 107 kg/día de COV, 63 kg/día de NO_x, 0.07 kg/día de SO_x y 2.39 kg/día de PM₁₀.

Para la Categoría II (camioneta rural y camioneta panel, camioneta pick up, Camión 2 – 5 Ton) un total de 21.41 kg/día de CO, 4.4 kg/día de COV, 4.08 kg/día de NO_x, 0.0098 kg/día de SO_x y 2.13 kg/día de PM₁₀; y por último, en la categoría III (Couster, Camión > 5 Ton y Ómnibus) un total de 325.33 kg/día de CO, 3.23 kg/día de COV, 16.39 kg/día de NO_x, 0.008 kg/día de SO_x y 0.65 kg/día de PM₁₀.

Mediante la realización de los nuevos escenarios respecto al cambio de combustible en los vehículos de couster se obtiene una reducción de 86%, 74.4% y 99% en los contaminantes COV, SO_x y PM₁₀ respectivamente.

Sin embargo el contaminante CO aumento 18 veces más. Así mismo para las camionetas panel el porcentaje de emisiones de los contaminantes PM, SO_x y COV es de 99%, 74.54% y 86% respectivamente, pero las emisiones de CO aumentarían 14 veces más el valor inicial y de la misma manera las emisiones de NO_x en un 8%.

Por lo tanto con la elaboración de los nuevos escenarios se obtiene la reducción las emisiones de COV en un 95 %, emisiones de CO en 65 %, SO_x en el 83 % y emisiones de material particulado en un 93 %.

Sánchez, Ordoñez, Muñoz, & Llacza (2016), realizaron el siguiente artículo de "*Estudio de modelación del material particulado en Lima con el modelo WRF-Chem*", obteniendo las siguientes conclusiones:

La investigación señala que el tráfico de Lima tiene una relación directa con la salud humana en particular con los niños de 13 y 15 años que viven cerca o aledaños a los 100 metros, ya que debido a mucha congestión vehicular los niños pueden sufrir enfermedades de asma. Siendo la zona norte de Lima la más afectada.

Además el parque automotor de Lima se encuentra conformado de un 52% de autobuses (transporte público) y con más de 20 años de antigüedad. Por lo cual se genera concentraciones elevadas de concentraciones de material particulado en el aire con un diámetro aerodinámico menor a 10 micrones (PM_{10}) y partículas finas (partículas en el aire con un diámetro aerodinámico menor a 2,5 micrones ($PM_{2,5}$), siendo estos los contaminantes que más superan el estándar de calidad ambiental (ECA) en la ciudad de Lima Metropolitana y Callao. Por lo cual con el fin de proveer información de los contaminantes de $PM_{2,5}$ y PM_{10} , la institución de servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI) desarrollo un sistema operativo de pronóstico de la calidad del aire. De ahí que las estaciones con más alta concentración anual de contaminante PM_{10} es el distrito de Santa Anita con 476,8 μ/m^3 y San Juan de Lurigancho con 564,4 μ/m^3 . Mientras que para el contaminante $PM_{2,5}$ son los distritos de Carabayllo con 189,2 μ/m^3 y Santa Anita con 179,1 μ/m^3 .

Saavedra (2014), realizo la siguiente tesis *“Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular”*, en la Universidad Nacional Agraria La Molina para alcanzar el grado académico de Ingeniero Ambiental mediante la realización de un inventario de emisiones llego a las siguientes conclusiones:

Los resultados indican que la hora de mayor congestión vehicular en la avenida Javier Prado Oeste se da entre las 17:30 y las 19:00 horas. En donde 1983 vehículos transitaron de los cuales un 42% eran automóviles y la velocidad única fue 8.7 km/hora, generándose una emisión en el tubo de escape de 377.44 kg/año de lo cual un 82% es CO, 11% Hidrocarburos (HC) y un 7% de NO_x.

Así mismo, los vehículos a gasolina producen emisiones evaporativas de 676.9 gr/año y las partículas totales suspendidas (PTS) alcanzan 13.85 kg/año, siendo los automóviles responsables un 33.1% de emisión. Mientras que los vehículos en la hora de mayor congestión logran 18 407.0 kg/año de emisiones totales de contaminantes. Ahora respecto a los nuevos escenarios se tiene que durante la mayor hora de congestión, los vehículos disminuyen su velocidad hasta un 31% alcanzando un valor de 12 689,13 kg/año y produciendo una emisión de 16 734,79 kg/año. De ahí que se produce una reducción de 9% con respecto al escenario real.

Además las emisiones vehiculares tienen una emisión total de 8 323.17 kg/año, produciéndose una reducción de 54.8% respecto al escenario real por el hecho de que el 5% de los vehículos a gasolinas son reemplazados por vehículos a gas natural (GNV). Por otro lado el 5% de los vehículos a GNV son sustituidos por los vehículos a gasolina generando una emisión de 19 769.31 kg/año que representa un aumento del 7.4% en comparación al escenario real.

Mendoza (2014), desarrollo la tesis titulada “*Valoración de contaminantes del aire generada por fuentes móviles para la gestión de la calidad del aire en el mercado de Tacna, 2011-2012*”, en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Tacna para alcanzar el grado académico de maestro en ciencias con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible, concluyendo en que:

Este estudio se realizó mediante un diseño no experimental, prospectivo, transversal en donde se aplicó la realización de encuestas para las fuentes de emisión móvil y para la valoración de emisiones se usó el factor de emisión según la guía sobre Técnicas para el inventario rápido de fuentes y se aplicó la formulación de Estrategia de Contaminación Ambiental.

De modo que el CO genera 367.10 ton/año y representa el 46%, luego el compuesto orgánicos volátiles (COV) un valor de 218.61 ton/año que representa un 27% y los contaminantes NO_x, Pb y SO₂ un valor de 27%.

Finalmente en el análisis comparativo para el año 2009 se emite 1630,73 ton/año de contaminantes atmosféricos y para el periodo 2011-2012 se emite 796,17 ton/año de contaminantes, obteniendo en un lapso de tres años una reducción de contaminantes de 48%.

Carcélen (2014), realizó la tesis de “*Estudio de las emisiones atmosféricas de buses urbanos con motores diésel en Lima y Callao en base a la metodología Copert*”, en la Universidad Pontificia Católica del Perú. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

Los resultados de las emisiones de los contaminantes CO₂, PM₁₀, CO, HC y NO_x de buses con motores diésel en Lima y Callao fueron 220,358 ton/año, 2,034 ton/año, 377 ton/año, 643 ton/año y 7,250 ton/año.

La investigación se realizó en base a cuatro fases, en la primera fase se obtiene información sobre el origen de las emisiones de los motores diésel. Mientras que en la segunda se presenta el porcentaje de la flota de Lima y Callao, para este caso se tiene 11.1% de flota total de Lima y Callao. Luego en la tercera fase se ejecuta el método de cálculo para estimar los niveles de emisión de cada vehículo, según su estándar de emisión y su clasificación por clase.

Finalmente en base a los factores de emisión de la metodología COPERT se realizaron tres escenarios de reducción de vehículos antiguos por nuevos, dando como resultado una reducción de hasta 90% bajo la norma de emisión euro III.

(Dawidowski, Sánchez Ccoyllo, & Alarcón, 2014), realizaron una investigación denominada *Estimación de emisiones vehiculares en Lima Metropolitana*, llegando a las siguientes conclusiones.

El año base para el desarrollo de la estimación de emisiones es el 2003 y las variables que se consideraron fueron las siguientes: flota, categorías vehiculares, ventas, perfil de antigüedad de la flota automotor, supervivencias según la antigüedad, rendimiento, kilómetros recorridos por el vehículo y factor de emisión.

Así mismo, el modelo utilizado fue Long Range Energy Alternatives Planning System (LEAP), cuyo modelo permite realizar cálculos de las emisiones con las variables mencionadas.

Finalmente el resultado para el contaminante de CO₂ es de 4 772 829 tn/año, N₂O es 102,6 tn/año, CO es 276 170 tn/año, SO₂ es 5127,8 tn/año, NOX es 57361,5 tn/año, PM₁₀ es 4923,2 tn/año, COV es 63 136 tn/año y el potencial de calentamiento global fue de 4 857 115 tn/año.

(Ministerio de Vivienda, 2004), realizo el documento del primer *Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima y Callao 2005 – 2010*. Los resultados de la investigación fueron las siguientes:

La investigación fue realizada por diversas instituciones teniendo como objetivo principal los problemas de la contaminación atmosférica. Además se indica que la tasa promedio anual para el año 1990 es de 7,31 % y para el año 2002 el parque automotor es de 825 197 unidades.

Por otro lado, para el cálculo del inventario de emisiones de los contaminantes del aire para el área metropolitana Lima y Callao, se hizo uso del Modelo IPIECA (International Petroleum Industry Association). El inventario de emisiones tuvo como base al año 2002 y los contaminante a trabajar fueron Hidrocarburos (HC), Monóxido de Carbono (CO), Óxido de Nitrógeno (NO_x), Partículas menores a 10 micras (PM₁₀), Óxido de Azufre (SO_x), y Plomo (Pb).

Así mismo, para la elaboración del inventario se requirió los siguientes datos: tipos de combustibles (composición) y vehículos, velocidades promedio de recorrido (km/h), recorrido promedio anual (km/año), población, número de viviendas, número de habitantes por vivienda, número de comercios e industrias, etc.

Finalmente para el caso del contaminante CO, los vehículos a los que les corresponde el mayor porcentaje son los automóviles con un 83,79%, y de este porcentaje el 48,94% le corresponde a los “taxis. Para los hidrocarburos el mayor porcentaje le corresponde a los automóviles con un 72,97% (“taxis” 40,71%). Pero para los contaminantes de Óxidos de Nitrógeno y las Partículas menores a 10 micras, el mayor porcentaje se encuentra en los buses de transporte público y en las camionetas rurales usadas en transporte público.

Comité de Gestión de la Iniciativa de Aire Limpio (2002), realizó el *Primer Plan Integral de Saneamiento Ambiental (I PISA)*, en donde se desarrolló un inventario de emisiones para el área metropolitana Lima – Callao mediante el uso del modelo IPECA (International Petroleum Industry Association) para los siguientes contaminantes: Hidrocarburos (HC), Monóxido de Carbono (CO), Óxido de Nitrógeno (NO_x), Partículas menores a 10 micras (PM₁₀), Óxido de Azufre (SO_x), y Plomo (Pb).

Por lo cual, se basaron en 870 033 unidades de vehículos y los datos utilizados para la elaboración del inventario son los tipos de combustibles (composición), categorías de vehículos, velocidades promedio de recorrido (km/h), recorrido promedio anual (km/año), población, número de viviendas, número de habitantes por vivienda, número de comercios e industrias, demanda de energía, etc.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

Rojas (2015), presentó la tesis *“Estimación de emisiones de contaminantes provenientes de fuentes móviles en la jurisdicción CAR”*. Mediante la cual concluye:

Se utiliza la metodología Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE, por sus siglas en inglés) para las fuentes móviles de los años 2008, 2009 y 2010, con el fin de estimar las emisiones de los contaminantes CO, COV, NO_x, SO_x y PM.

Siendo así el objetivo de la investigación estimar un inventario de fuentes móviles para el año 2012 y asumiendo como fuente al parque vehicular de la jurisdicción CAR.

Las categorías vehiculares a considerar son las flotas vehiculares de buses, camiones, taxis y motocicletas.

De modo que se obtuvo como resultado un inventario en relación con la incertidumbre (U), por lo cual asociados muestran como resultado que en la región se emitieron, 1.523 ton PM_{10} /año, 109.253 ton CO/año, 27.260 ton NO_x /año, 250 ton SO_x /año y 24.820 ton COV/año, en el año 2012.

De ahí los vehículos de clasificación de particulares, taxis y motocicletas solo emiten fundamentalmente monóxido de carbono (CO). Mientras que para el caso de NO_x y SO_x el parque automotor de buses, camiones y vehículos de pasajeros son las principales fuentes de emisión. Como también las motocicletas constituyen la principal fuente de compuestos orgánicos volátiles (COV).

(Hu, y otros, 2013), realizaron un artículo respecto a la *“Estimación de las concentraciones de $PM_{2,5}$ a nivel del suelo en el sureste de Estados Unidos que utilizan las recuperaciones MAIAC y AOD, un modelo de dos etapas”*. Mediante lo cual llegó a las siguientes conclusiones:

Los resultados de estudios previos mencionan que el material particulado 2,5 ($PM_{2,5}$) afecta a la salud humana, por lo cual se realizaron estudios de modelos que permitan realizar redes de monitoreo de $PM_{2,5}$ espaciadas temporalmente a escala urbana y a nivel de suelo.

Por otro lado, el modelo de espesor óptico de aerosoles (AOD, según sus siglas en inglés) en estudios anteriores ha dado como resultado que es muy difícil estimar las características de $PM_{2,5}$ a escala urbana, pero respecto a los aerosoles puede efectuar mediciones ópticas y pueden ser relacionadas al $PM_{2,5}$.

Mientras que la implementación de ángulos múltiples de corrección atmosférica (MAIAC, según su siglas en inglés) es un modelo estadístico espacial que realiza mediciones en dos etapas siendo estos, un campo meteorológico y los parámetros de uso del suelo.

De manera que se comprueba la viabilidad de utilizar los modelos MAIAC y AOD, con el fin de estimar las concentraciones de $PM_{2,5}$ a nivel de suelo. Es así que MAIAC nos permite obtener resultados de concentraciones de $PM_{2,5}$ a una distancia de 1km.

Es así que ambos modelos dirigidos por el satélite nos señala las características de $PM_{2,5}$ del sureste de los Estados Unidos y sus posibles causas. Así mismo los datos de MAIAC y AOD nos permiten conseguir estudios sobre los efectos de salud respecto al contaminante $PM_{2,5}$.

Caballero (2011), desarrollo la tesis de “*Análisis de emisiones de vehículos livianos según ciclos de conducción específicos para la región metropolitana*” en la Universidad de Chile, concluyendo lo siguiente de la investigación:

Para los vehículos livianos se calcularon factores de emisión de los contaminantes CO, CO₂, NO_x, HC y PM₁₀. De los cuales luego serán utilizados en la metodología modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE, por sus siglas en inglés) para caracterizar las situaciones temporales de los vehículos con tasas de emisión.

Por lo cual se tiene como resultado que los factores de emisión tienen semejanza con las categorías viales y de modo que se logra producir modelos de emisiones en base a la velocidad media.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Políticas de Combustible

Se estima utilizar vehículos cada vez más eficientes a nivel mundial, con el fin de conseguir combustibles de mejor calidad y obtener el ingreso de vehículos más limpios. Es por ello, que el gobierno peruano decidió modificar la calidad de los combustibles a un contenido de bajo de azufre y libre de plomo. Por esta razón, que el mercado peruano conseguirá el ingreso de vehículos con mejores tecnologías, con el fin de mitigar los efectos de su combustión en la salud y en el ambiente.

En 1998, el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) realiza el Decreto Supremo N°019-98-MTC, la cual se encuentra relacionado a los combustibles. Así mismo, consiste en prohibir la comercialización de la Gasolina 95 RON (Índice de octanaje), en el mercado y disminuir el contenido de plomo en la Gasolina 84 RON.

Posteriormente el Decreto Supremo N° 025-2017-EM en la actualidad, es la norma más reciente que indica a partir del primero de enero del 2010 cumplir con una obligatoriedad de comercializar y utilizar diésel, gasolinas y gasoholes de alto octanaje (95/97/98 RON) con un contenido menor a 50 ppm de azufre. En la tabla 1 se muestra las normas de la calidad de combustible.

Tabla 1.*Cronograma de instrumentos normativos vinculados a la calidad de combustibles*

INSTRUMENTO NORMATIVO	AÑO DE ENTRADA EN VIGOR	DETALLE
Decreto Supremo N° 019-98-MTC	1998	Consiste en eliminar del mercado peruano la oferta de Gasolina 95 RON con plomo y disminuir el límite máximo de contenido de plomo en la Gasolina 84 RON.
Decreto Supremo N° 013-2005-EM y sus modificaciones	2005	El reglamento de comercialización de Biocombustibles indica la obligatoriedad de incorporar un porcentaje de alcohol carburante en las gasolinas (gasohol) y de un porcentaje de biodiesel (diésel N°1 y N°2).
Decreto Supremo N° 061-2009-EM	2009	Disponen criterios para establecer zonas geográficas en donde se autoriza la venta de combustible diésel con un contenido de azufre máximo de 50 ppm.

Resolución Ministerial N° 139-2012-MEM/DM	2012	Disponen prohibición de comercializar y utilizar Diésel B5 con un contenido de azufre mayor a 50 ppm en los departamentos de Lima, Arequipa, Cusco, Puno, Madre de Dios y en la Provincia Constitucional del Callao.
Decreto Supremo N° 009-2015-MINAM	2015	Se constituye la obligatoriedad de comercialización y uso de Diésel con un contenido de azufre no mayor a 50 ppm en Junín, Tacna y Moquegua.
Decreto Supremo N° 038-2016-EM	2017	Se indica la obligatoriedad de comercialización y uso de Diésel con un contenido de azufre no mayor a 50 ppm en Ancash, Apurímac, Ayacucho, Cajamarca, Huánuco, Huancavelica, Ica, Lambayeque y Pisco.
Decreto Supremo N° 025-2017-EM	2018	Se indica la obligatoriedad de comercialización y uso de Diésel con un contenido de azufre no mayor a 50 ppm en La Libertad. Además, se constituye la obligatoriedad de comercialización y uso de gasolinas y gasoholes de alto octanaje (95/97/98 RON) con un contenido de azufre no mayor a 50 ppm, a nivel nacional.

Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Gasolina y Gasohol

En el Perú en el año 2005, se estableció una nueva mezcla llamada gasohol (92.2% de gasolina y 7.8% de alcohol) con el objetivo de inducir la venta y uso de biocombustibles a nivel nacional. Luego, en el Decreto Supremo N° 024- 2011-EM, se indica un cronograma de forma obligatoria que establece las fechas de implementación de gasohol en las diversas regiones del país. Pero, las regiones Amazonas, San Martín, Loreto, Madre de Dios y Ucayali no se encuentran registradas dentro del cronograma.

Respecto a este hecho el Ministerio de Energía y Minas (MEM) explico que dichas regiones también serán agregadas a la obligatoriedad pero se dará cuando el sector lo mencione, es decir, que la venta y uso de gasohol es de forma voluntaria. En la actualidad, el 79% del país vende y usa de manera obligatoria el gasohol, solo un 11% continua utilizando gasolina como combustible vehicular.

2.2.3. Diésel

Del mismo modo que la gasolina, en el combustible de diésel se realizaron nuevas mezclas entre el diésel N°2 y el biodiesel B100. La mezcla se realizó en base al porcentaje de biocombustible, lo cual se detalla en la tabla 2.

Tabla 2.*Porcentaje de la mezcla de Biodiesel B100 con Diésel N° 2*

% VOL. BIODIESEL B100	% VOL. DIESEL N° 2	DENOMINACIÓN
2	98	Diésel B2
5	95	Diésel B5
20	80	Diésel B20

Fuente: Decreto Supremo N° 021-2007-EM

Por otro lado, el hecho más importante entre el diésel y azufre es el Decreto Supremo N° 061-2009-EM, en donde se indica los criterios a considerar para la comercialización del contenido de diésel a bajo azufre. Además el gobierno peruano ha iniciado con el incentivo de difundir las medidas que prohíben la venta y uso de diésel con contenido de azufre mayor a 50 partes por millón (ppm) a nivel regional. Es por ello que se viene mejorando de forma progresiva el azufre de 5 000 ppm a 50 ppm. La siguiente figura 1 nos detalla el avance actual que se tiene respecto al azufre.



Figura 1. Concentración del azufre en el combustible diésel en Perú.
Fuente: Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (2018)

Cabe mencionar que en base a la institución de INDECOPI (figura 1), indica que en la mayoría de las partes del Perú se comercializa diésel con bajo contenido de azufre, a excepción de ciertas regiones como lo son Ucayali, Loreto, Amazonas, Piura, San Martín, Tumbes y dichas regiones representan un 10% del mercado nacional.

2.2.4. Estándares de emisiones de los vehículos

Mediante el Decreto Supremo N° 010-2017-MINAM de Perú, se logró formar los valores de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para las emisiones contaminantes relacionados a los vehículos automotores en circulación. El objetivo de dicha norma es resguardar la salud pública, por lo cual se regula las concentraciones de los contaminantes que generan las emisiones vehiculares, los cuales son monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x), el material particulado (PM), dióxido de azufre (SO₂) y entre otros.

En cuanto a la incorporación de la norma EURO 4/IV es importante mencionar que cada vez más se exige que los combustibles a utilizar sean más limpios a causa de que los vehículos de esta tecnología poseen sistemas de control de emisiones más avanzados. En la siguiente tabla 3 y 4 se detalla los estándares de emisión de la Unión Europea para los vehículos nuevos livianos y medianos (LDV) y pesados (HDV) en Perú:

Tabla 3.*Evolución de la norma EURO para vehículos nuevos livianos importados en el Perú*

AÑO	ESTÁNDAR DE EMISIÓN	DECRETO/ RESOLUCIÓN
2003-2006	Euro 2 Liviano 94/12/EC y mediano 96/69/EC	D.S. N° 047-2001-MTC
2007-31 Marzo, 2018	Euro 3 Liviano y mediano 98/69/EC (A)	D.S. N° 047-2001-MTC
1 Abril, 2018 presente	Euro 4 Liviano y mediano 98/69/EC (A) 2002/80/EC	D.S. N° 010-2017-MINAM

Fuente: Policytransport.net

Tabla 4.*Evolución de la norma EURO para vehículos nuevos pesados importados en el Perú*

AÑO	ESTÁNDAR DE EMISIÓN	DECRETO/ RESOLUCIÓN
2003-2006	Euro II Pesado 96/1/EC	D.S. N° 047-2001- MTC
2007-31 Marzo, 2018	Euro III Pesado 99/96/EC (A)	D.S. N° 047-2001- MTC
1 Abril 2018- presente	Euro IV Pesado 2005/55/EC (A)	D.S. N° 010-2017- MINAM

Fuente: Policytransport.net

2.2.5. Contaminación del aire

La contaminación del aire se relaciona con diversos efectos negativos en la salud como las infecciones respiratorias, cáncer del pulmón y enfermedades cardiovasculares. Se considera que la contaminación del aire de interior proviene del uso de combustibles sólidos y los del exterior de zonas urbanas, siendo los responsables de 3,1 millones de muerte prematuras por año a nivel mundial y un 3,2% de la carga mundial de enfermedades (OMS, 2018).

Así mismo, la contaminación atmosférica es causada por la presencia de gases y partículas en el aire, además el uso de los combustibles fósiles, carbón y petróleo incrementan la contaminación atmosférica. (MCGRAW, 2009)

Según MCGRAW las fuentes de contaminación se dividen en dos tipos: las naturales y artificiales o antropogénicas.

a) Naturales

Son aquellas emisiones provocadas por la actividad natural de la hidrosfera, geósfera, atmósfera y la biosfera. De tal forma se forman los siguientes:

- Erupciones volcánicas: Son los que emiten compuestos de azufre a la atmósfera, como el dióxido de azufre e hidrogeno de sulfuro y también una gran cantidad de partículas. Siendo una de las causas más contaminantes.
- Incendios forestales: Este hecho se da de manera natural y generan altas concentraciones de dióxido de carbono, polvo, humo, óxidos de nitrógenos y cenizas.

- Algunas actividades de los seres vivos: Se produce cuando se realiza la reproducción y floración de las plantas anemófilas (arizónicas, los olivos y las gramíneas), cuyas plantas producen pólenes y se dispersan en el aire afectando al 20% de la población. Los procesos de respiración de seres vivos provocan un incremento de dióxido de carbono.
- Descargas eléctricas: Se producen con la formación de tormentas generando contaminantes como el óxido de nitrógeno.
- Mar: Genera partículas salinas al aire

b. Artificiales o antropogénicas

Son producidas por las actividades realizadas por el ser humano o por solo el hecho de su presencia y también por el uso de combustibles fósiles (gas, carbones y petróleo) que provocan una mayor parte de contaminación atmosférica. Cuyas actividades son:

- Hogar: Los seres humanos tienen la necesidad de utilizar electrodomésticos que utilizan como fuente de calor a los combustibles fósiles.
- Medios de transporte: El nivel de contaminación se debe a la clase de combustible que se utilice, teniendo a los aviones y a los vehículos como mayores generadores de la contaminación.
- Industria: Para este caso va depender del tipo de actividad que se realice, de las cuales pueden ser cementeras, papeleras, centrales térmicas y las más contaminantes las químicas.

2.2.6. Tipos y fuentes de contaminantes atmosféricos

Según el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2007) se tiene dos tipos de fuentes de emisiones a la atmósfera, las cuales se distinguen en:

a) Fuentes fijas

Se tiene tres clases de fuentes fijas:

- Fuentes puntuales: Son aquellas que provienen de las actividades industriales y generadoras de energía eléctrica. Por lo cual depende del estado de los equipos, de la calidad de combustible, eficiencia de quemadores y entre otros. Generando contaminantes como SO₂, NO_x, CO, CO₂ e hidrocarburos.
- Fuentes de área: Son aquellas distintas a las actividades industriales, tales son el almacenamiento de gas, panaderías, artes gráficas y consumo de solventes. Pero también incluyen actividades que generan emisiones como las plantas de composteo, tratamiento de aguas residuales, rellenos sanitarios. Esta clase de emisión trae consecuencias en la salud.
- Fuentes Naturales: Son aquellos emitidos por la vegetación, la actividad microbiana en los océanos y suelos, cuyas emisiones emitidas son denominada biogénicas. Las emisiones biogénicas son el óxido de nitrógeno, hidrocarburos, metano y monóxido de carbono. Así mismo, se tiene a las emisiones producidas por la suspensión de suelos, volcanes, océanos, entre otros.

b) Fuentes móviles

En esta clase se encuentran principalmente los medios de transporte como los aviones, ferrocarriles, autobuses, aviones, automóviles, entre otros que por su función generen emisiones contaminantes. Cuyos motores son los que generan contaminantes como los compuestos orgánicos volátiles, CO, SO₂ y NO_x, producidos durante la combustión.

2.2.7. Tipos de Contaminantes

Los contaminantes se diferencian entre primario y secundario, esto dependerá de acuerdo a su origen (MCGRAW, 2009).

a) Contaminantes primarios

Son aquellas que son emitidas de forma directa a la atmósfera y provienen de composición química variada. Dentro de este grupo se incluye a las partículas, aerosoles, iones, humos, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, compuestos orgánicos, hidrocarburos, dioxinas, metales pesados, los olores y entre otros.

Además MCGRAW (2009) afirma que todos los contaminantes mencionados constituyen el 90% del total de los contaminantes del aire.

b) Contaminantes secundarios

Este tipo de contaminante es originado a partir de los contaminantes primarios mediante reacciones químicas, dando como resultados la obtención de otros contaminantes nuevos o transformados. Tales son trióxido de azufre (SO₃), trióxido de nitrógenos (NO₃), ácido sulfúrico (H₂SO₄), ozono troposférico (O₃) y Nitratos de peroxiacetilo (PAN) (MCGRAW, 2009).

2.2.8. Principales Contaminantes de la Atmósfera

a) Monóxido de carbono

Es un contaminante primario sin color, olor ni sabor y considerado como un gas tóxico que envenena la sangre e impide el transporte del oxígeno. Además genera la muerte de muchas personas en sucesos como incendios y minas de carbón.

Así mismo, cerca del 90% son formados de forma natural y pueden ser eliminados cuando se produce la oxidación del CO₂. Se originan principalmente de la combustión incompleta en el combustible de la gasolina que se da en los motores de los vehículos (Echarri, 2007).

b) Dióxido de azufre

Es un gas incoloro con un intenso olor que se produce a partir de la combustión de fósiles y produce efectos en la salud humana directamente al sistema respiratorio (OMS, 2016).

c) Óxidos de nitrógeno

Son contaminantes primarios que producen grandes cantidades de emisión y es considerado como la unión del óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂),

Por otro lado son producidos por las actividades humanas, como las combustiones provenientes de altas temperaturas y en altas concentraciones pueden generar daño a la salud humana, a las plantas y materiales diversos (Echarri, 2007).

d) Material particulado

Es uno de los contaminantes más frecuentes y problemáticos. Además son partículas que se encuentran en suspensión variando en su tamaño tales son material particulado con un diámetro menor de 10 micrómetro (PM_{10}) y material particulado menor a 2,5 micrómetro ($PM_{2,5}$). Como también es de origen primario cuando es emitido directamente por los motores de diésel produciendo hollín (Euskadi, 2016).

e) Dióxido de carbono

Es un gas natural, considerado como uno de los gases de efecto invernadero. También es producto de la combustión de combustibles y de procesos industriales (MINAM).

f) Black carbón

El carbón negro es un componente potente del calentamiento del clima de partículas formadas por la combustión incompleta de combustibles fósiles, madera y otros combustibles.

La combustión completa convertiría todo el carbono en el combustible en dióxido de carbono (CO_2), pero la combustión nunca se completa y en el proceso se forman CO_2 , monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y partículas de carbono orgánico y carbono negro. La mezcla compleja de materia particulado que resulta de la combustión incompleta a menudo se conoce como hollín (La Coalición Clima y Aire Limpio)

2.2.9. Inventario de Emisiones

El inventario de emisiones está conformado por un conjunto de datos que se forman mediante una sumatoria.

Así mismo, consolidan los valores de las emisiones de los contaminantes de acuerdo al tipo de fuente, tipo de contaminantes, la cantidad de emisiones emitido por el contaminante en un área geográfica y en un determinado tiempo (EPA, 1999)

También el inventario de emisiones puede ser utilizado en 3 diferentes fuentes como para las móviles, fijas y naturales.

Además un inventario de emisiones debe contar con dos características principales, datos completos y precisos. Los cálculos del inventario de emisiones se basan en la siguiente ecuación:

$$IEA = \sum_{i=1}^n E_{j,t}$$

Donde:

- IEA: inventario de emisiones atmosféricas para sustancias o mezclas en el periodo t.
- $E_{j,t}$: emisión atmosférica de la sustancia o mezcla de sustancias (j), generada por la actividad (i) en el periodo (t).
- n: número total de actividades

Pero en caso no se cuente con información de emisiones directas de la fuente, se optara por combinar informaciones de los procesos de cada actividad (factor de actividad) con la información de las emisiones respecto a los procesos de dicha actividad (factor emisión) (EEA 2016), tal y como lo indica en la siguiente ecuación:

$$IEA = \sum_{i=1}^n (FE_{j.i} \times FA_{i.t})$$

- FE_{j.i}: factor de emisión de la sustancia o mezcla de sustancia (j) para la actividad (i).
- FA_{i.t}: factor de actividad de la actividad (i) durante el tiempo (t).

Por otro lado, el objetivo fundamental del inventario de emisiones es cuantificar los valores de las emisiones generadas por una actividad. Además indicar y orientar a los actores de interés para futura toma de decisiones.

2.2.10. Factor de emisión

El factor de emisión se relaciona de acuerdo al tipo de fuente (móvil o fija) y al tipo de combustible (gasolina o diésel).

Además de acuerdo a la compilación de factores de emisiones del aire del EPA (AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors), un factor de emisión es un valor representativo que relaciona la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera, con una actividad específica.

Así mismo, el EMEP/EEA (EEA, 2016) indica en su Guía de inventario de emisiones de contaminantes del aire que el factor de emisión son documentos que recopilan factores de emisión para las distintas actividades o procesos involucrados en la emisión de contaminantes al aire.

2.2.11. Parque automotor de Lima Metropolitana y Callao

En la ciudad de Lima Metropolitana a diario se puede percibir la congestión vehicular y el aumento de tráfico, siendo esto relacionado con el crecimiento poblacional y con la falta de planificación.

Además el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), indica que en el Perú el parque vehicular ha crecido un 6% desde el año 2012 a 2016 con 2 661 719 vehículos.

Pero en Lima Metropolitana (incluyendo Callao) circulan 1 752 919 vehículos representando un 66% de los vehículos en total de Perú (Exterior, 2018).

Por otro lado el parque automotor de Lima Metropolitana y Callao tiene un crecimiento de 6%.anualmente (INEI, 2016).

Sin embargo anteriormente se han realizado dos inventarios de emisiones para el parque automotor del área Lima Metropolitana y Callao. Siendo el primero, el Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima y Callao 2005-2010 realizado por el Ministerio de Vivienda en el año 2014.

Así mismo, el segundo es el inventario de emisiones vehiculares en Lima Metropolitana, el cual fue elaborado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) en el año 2014.

2.3. Definición de términos

- Ambiente: Es la interrelación de un conjunto de elementos físico naturales, económicos, culturales y sociales, con la sociedad o el individuo que habita.
- Contaminación: Es la acción que realiza una sustancia química o una mezcla en el agua, aire o suelo y puede ocasionar efectos negativos en el ambiente o en la salud.
- Contaminación atmosférica: Es la presencia de un agente extraño al ambiente ya sea una sustancia química, partículas o microorganismos que logran alterar o perjudicar la calidad ambiental y la salud humana. Del mismo modo tiene una relación directa con la densidad de partículas o gases.
- Contaminantes: Es toda aquella sustancia que no forma parte de la naturaleza, pero forma parte de ello durante un tiempo y puede producir efectos adversos a la salud humana o al ambiente. Pueden ser de origen antropogénico, por hechos naturales y entre otras.
- Evaluación de efectos: Son los estudios posibles que se realiza de la consecuencia de un organismo, población o ecosistema, generados por la exposición de un factor.
- Contaminantes primarios: Es aquel contaminante emitido directamente de la fuente al aire.
- Contaminantes secundarios: Son aquellos que tienen como base a los contaminantes primarios y se producen en la atmósfera mediante procesos físico o químicos.

- Emisión: Es el acción de una descarga de sustancia contaminante hacia el aire teniendo como punto de origen a la atmósfera y siendo denominado el punto de inicio como fuente.

- Factor emisión: Es un valor representativo que relaciona la cantidad de la emisión del contaminante en la atmósfera con algún tipo de actividad que se encuentre asociada a la emisión del contaminante. Cuyos factores son hallados mediante la masa del contaminante dividido entre el peso, volumen y distancia.

- Fuentes móviles: Se consideras a todos los medios de transporte que tienen como uso a los motores que realizan la acción de procesos de combustión empleando cualquier tipo de carburante.

- Problema ambiental: Es la acción de realizar un daño perjudicial de forma aparente o real al ambiente.

- Tecnologías Limpias: Son métodos o técnicas utilizados que cuidan al ambiente, es decir son menos contaminantes y utilizan a los recursos de manera más sustentable.

CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

3.1. Tipo de investigación

La investigación realizada en el presente proyecto es descriptivo, ya que se describe el resultado de las cantidades de los contaminantes, se procesa los datos de la flota del parque automotor, se formula una metodología y se define un análisis.

3.2. Diseño de la investigación

El proyecto tiene un diseño de investigación no experimental transversal, esto siendo debido a que se recolectan datos en un tiempo determinado, siendo para este caso el año 2016. Además, también porque se recolectan datos de diversas fuentes para los cálculos del inventario de emisiones y por la elaboración de los diversos escenarios.

3.3. Enfoque

El enfoque del proyecto es cualitativo, debido a que es un proceso inductivo y descriptivo. Es por ello que en el proyecto se describen las características de los contaminantes del parque automotor y las cantidades de las emisiones. Así, mismo porque se generan perspectivas a partir de las proyecciones y no se realizan procesos estadísticos.

3.4. Equipo e información requerida

Para el desarrollo del inventario de emisiones atmosféricas se utilizó el programa Microsoft Excel, que se caracteriza por ser una herramienta de cálculos.

La información mínima requerida para la elaboración del inventario de emisiones son las siguientes:

- a) Cantidad de la Flota vehicular por categoría vehicular
- b) La antigüedad de la flota vehicular, que se ha determinado al estándar de emisión (Normativa Europea)(Pre-euro: Antes del año 2002, Euro 2/II: 2003-2006, Euro 3/III: 2007- 2017, Euro 4/IV: 2018, Euro 6/ VI: 2022).
- c) Distribución de las categorías vehiculares (porcentaje).
- d) Recorridos promedios por categoría vehicular (km/año).
- e) Rendimiento vehicular promedio (km/gl)
- f) Demanda de combustibles en estaciones de servicio y/o grifos (galones por día y porcentaje).
- g) Factores de emisiones (fuentes móviles)

3.5. Escenarios propuestos

Para el presente estudio el año base es el 2016, siendo considerado dicho año debido a que presenta información más completa y concisa.

Estas proyecciones contemplan los escenarios relacionados a las regulaciones de mejora de la calidad de combustibles e implementación de tecnologías vehiculares más eficientes (Euro 4/IV) a partir del año 2018, con proyecciones al año 2030.

Se tomaron los siguientes criterios para el desarrollo de las proyecciones:

- Se realizaron las proyecciones del parque automotor de Lima y Callao basados en un crecimiento promedio anual (exponencial) de 6%. La tasa fue calculada en base al crecimiento de los últimos 6 años.
- La distribución porcentual de combustible por tecnología y la antigüedad vehicular creció directamente proporcional al crecimiento del parque vehicular.
- En el particular caso del SO₂ y CO₂, se realizaron las proyecciones del consumo de combustible basado en los datos históricos de la información de la institución SCOP OSINERGMIN. Como resultado, se obtuvo el crecimiento promedio anual (exponencial) específico para cada combustible.

Se procede a detallar en la siguiente tabla 5, los años, la tecnología y la calidad de combustible empleada en los escenarios:

Tabla 5.
Escenarios propuestos para Lima Metropolitana y Callao

ESCENARIO	DETALLE
Alto Azufre (AA) Sin regulación	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Parque automotor del año 2016 ✓ Inventario realizado para los años 2016, 2018, 2022 y 2030 ✓ Estándar Tecnológico: Pre euro hasta Euro 3 ✓ Calidad de combustible: <ul style="list-style-type: none"> ○ Gasohol: 2000 ppm ○ Diésel: 5000 ppm
Bajo Azufre (BA) Limitación a 50S en diésel “DB5-50S”	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Parque automotor proyectada al año 2030 (Tasa de crecimiento de 6 % en base al año 2016) ✓ Inventario realizado para los años 2016, 2018, 2022 y 2030 ✓ Estándar Tecnológico: Pre euro hasta Euro 3 ✓ Calidad de combustible: <ul style="list-style-type: none"> ○ Gasohol: 2000 ppm ○ Diésel B5: 50 ppm
Bajo Azufre – Alto Octanaje (BA-AO) Euro 4 + DB5-S50	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Parque automotor proyectada al año 2030 (Tasa de crecimiento de 6 % en base al año 2016) ✓ Inventario realizado para los años 2018, 2022 y 2030 ✓ Estándar Tecnológico: Pre euro hasta Euro 4 ✓ Calidad de combustible: <ul style="list-style-type: none"> ○ Gasohol Alto Octanaje (95/97/98): 50 ppm ○ Gasohol Bajo Octanaje (84/90): 2000 ppm ○ Diésel B5: 50 ppm

	✓ Parque automotor proyectada al año 2030 (Tasa de crecimiento de 6 % en base al año 2016)
Ultra Bajo	✓ Inventario realizado para los años 2022 y 2030
Azufre (UBA)	✓ Estándar Tecnológico: Pre euro hasta Euro 6
Euro 6 + DB5-	✓ Calidad de combustible:
S10	<ul style="list-style-type: none"> ○ Gasohol :10 ppm ○ Diésel B5: 10 ppm

Fuente: Elaboración propia

3.6. Metodología

Se realizó un inventario de emisiones procedentes del parque automotor de los contaminantes (NO_x, CO, HC, BC, SO₂, CO₂ y PM_{2,5}), en base al año 2016.

Así mismo, proyecciones con escenario al año 2018, 2022 y 2030. Por lo cual se modificó algunas variables con el fin de evaluar los cambios que puedan producirse al reducir las cantidades de azufre de los combustibles y de los avances de las normas tecnológicas de los vehículos.

Por otro lado el inventario de emisiones se desarrolló en base a los datos de la cantidad de vehículos que han sido obtenidos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), de igual manera para la cantidad de motos , así mismo, la antigüedad de los vehículos son de la misma fuente.

La participación porcentual en vehículos por tipo de combustibles fueron obtenidos del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI, 2012) y para efectos prácticos se asumió un 100% a las motos a gasolina.

Mientras que los recorridos promedios por vehículo (km/año) tiene como fuente de datos al informe denominado escenarios de Mitigación del Cambio Climático en el Perú al 2050: Construyendo un Desarrollo Bajo en Emisiones en el Anexo 4.3 realizado por el Proyecto Planificación ante el Cambio Climático (PlanCC, 2014).

Para los vehículos a diésel y gasolina (categoría Automóvil), se utilizó la fuente del documento de elaboración de propuesta para el uso de etiquetado energético en vehículos livianos en el Perú (Informe Final), elaborado por SWISSCONTACT, (Mayo 2014).

A su vez se asumió para los vehículos a GLP y gasolina, en la categoría ómnibus, el mismo recorrido promedio de GNV (chispa).

Así mismo, los vehículos a GNV y gasolina, en la categoría camión, asumieron el mismo recorrido promedio de diésel.

En cuanto al porcentaje de la antigüedad y la flota de parque automotor por antigüedad de Lima Metropolitana y Callao, los datos fueron obtenidos del informe Diseño de programa de chatarreo y renovación vehicular en el Perú: Identificación de impactos y costos de la implementación de programa de renovación, elaborado por NAMA Support Project (2018).

3.6.1. Para emisiones de PM_{2,5}, NOX, BC, CO y HC

a) Metodología

Para el cálculo de las emisiones estimadas se ha utilizado el siguiente algoritmo general de cálculo:

$$EE = FE * TA$$

Dónde;

EE: Emisiones estimadas, $\left(\frac{Ton}{Año}\right)$

FE: Factor de emisión, $\left(\frac{g}{Km}\right)$

TA: Tasa de actividad, $\left(\frac{Km}{año}\right)$

b) Tasa de actividad

La tasa de actividad (TA) con la cual se desarrolló el inventario para estos contaminantes fue el kilometraje anual recorrido por los vehículos del parque automotor. A su vez el crecimiento del parque automotor anualmente ha sido de 6%.

c) Factor de emisión

Los factores de emisión fueron conseguidos a partir del “EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook” de la Agencia Ambiental Europea (EEA, en sus siglas en inglés). Pero, estos valores fueron ajustados dos veces. La primera fue ajustada a los contenidos específicos de biodiesel y el segundo fue ajustado al contenido específico de azufre, por lo que se tomó en cuenta las matrices de factores de correlación del artículo científico⁸ perteneciente a Liu et al, 2008, donde se describe los efectos del contenido de azufre en las emisiones vehiculares. Las tablas se encuentran detalladas en el Anexo 1 y 2, respectivamente.

3.6.2. Para emisiones de SO₂

a) Metodología

Para el cálculo de las emisiones estimadas se utilizó el siguiente algoritmo general de cálculo:

Donde;

$$SO_2 = CC * FE$$

SO₂: Emisiones de dióxido de azufre, ($\frac{Ton}{año}$)

FE: Factor de emisión, ($\frac{g}{Kg}$) por tipo de combustible

CC: Combustible consumido, ($\frac{gl}{día}$)

b) Nivel de actividad

La tasa de actividad (TA) con la cual se desarrolló el inventario para el SO₂ fue el combustible consumido por categoría vehicular del parque automotor.

La densidad que se empleó para cada combustible proviene de la hoja de cálculo denominada "RAGEI_Energía_Combustión-Movil" proveniente Guía Metodológica de INGEI para Energía: Fuentes Móviles de INFOCARBONO.

c) Factor de emisión

El factor de emisión se halla según la estequiometría del contaminante SO₂, donde este equivale el doble del contenido de azufre, para cada tipo de combustible, ya que la relación del peso atómico y peso molecular es de 1 a 2.

3.6.3. Para emisiones de CO₂

a) Metodología

De acuerdo a los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero para el sector energía, la fórmula básica para estimar las emisiones procedentes del transporte terrestre es la siguiente:

$$EE = \sum_j (CC_j * FE_j)$$

Donde;

EE: Emisiones estimadas de CO₂, $\left(\frac{Ton}{Año}\right)$

EF: Factor de emisión, $\left(\frac{Kg}{TJ}\right)$ por tipo de combustible

CC: Combustible consumido, $\left(\frac{TJ}{día}\right)$

j: Tipo de combustible

Las conversiones y factores de emisión utilizados pertenecen a la Directrices del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) del 2006 publicadas en la página oficial de INFOCARBONO. Sin embargo, los valores están ajustados al tipo de biocombustible (Gasohol y Diésel B5) que se utilizan en el Perú. Así mismo, es importante mencionar que se utilizaron estos factores porque son los que se manejan en los inventarios de emisiones a nivel nacional. La finalidad es mantener una base de datos que sean medibles y comparables entre sí.

3.7. Resultados

Se presenta la siguientes gráficas como resultado del inventario de emisiones en base al año 2016, además se muestra las variaciones que se presentan en los diferentes escenarios.

Tabla 6.

Cantidad de las emisiones del contaminante $PM_{2,5}$, según su escenario

Escenario	2016 (Tn/año)	2018 (Tn/año)	2022 (Tn/año)	2030 (Tn/año)
Alto Azufre	8252	9005	10801	15932
Bajo Azufre (50S)	3898	4170	4822	6682
Bajo Azufre -Alto Octanaje		4092	4367	5103
Ultra Bajo Azufre (10S)			4207	4619

Fuente: Elaboración propia

3.7.1. Concentración del contaminante $PM_{2,5}$ y sus escenarios

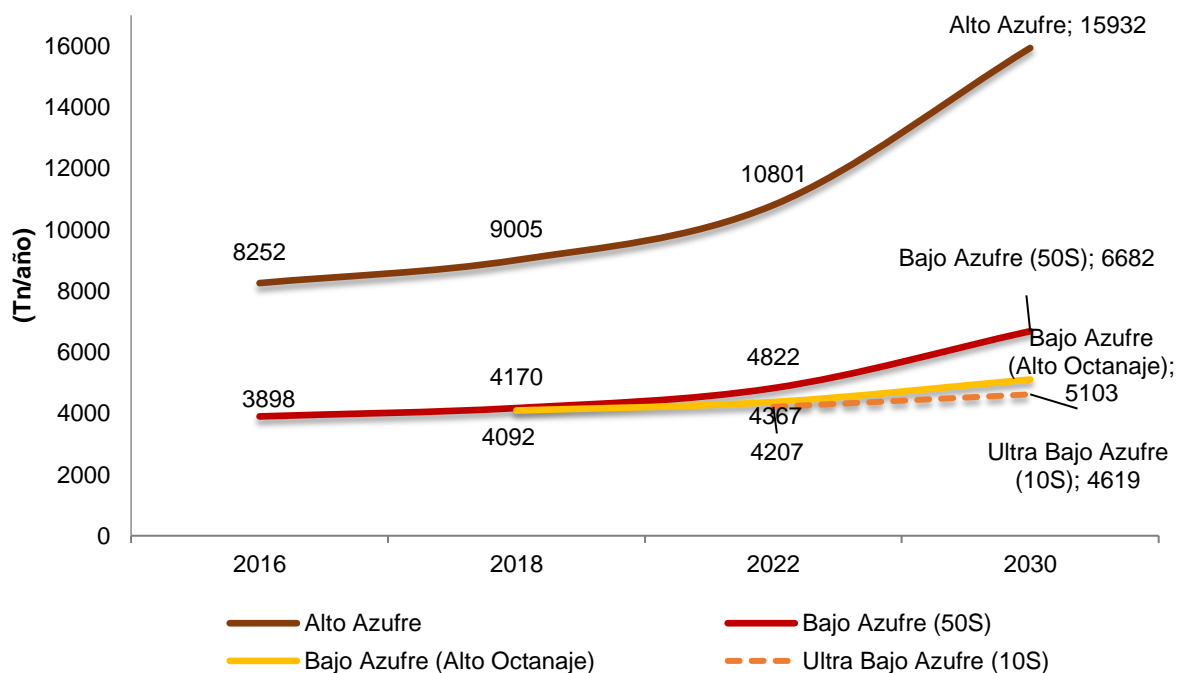


Figura 2. Cantidad de las emisiones del $PM_{2,5}$ y sus escenarios

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2, el crecimiento del parque automotor es representado por una línea de tendencia de forma ascendente. Así mismo se observa que para el año 2018 las emisiones del escenario bajo azufre (BA) han reducido en un 48% siendo 4 170 Tn/año en comparación con el escenario alto azufre (AA) que no presenta ninguna reducción.

Además es importante mencionar que para el escenario AA no se consideró ninguna medida vinculada a las emisiones vehiculares, sin embargo para el escenario BA contenido de azufre se redujo a 50ppm.

De igual manera se observa que en el año 2018 el escenario bajo azufre-alto octanaje (BA-AO) presenta una reducción de 50% de emisiones, emitiendo 4 092 Tn/Año en comparación con el escenario AA, sucediendo esto a causa de que a partir del año 2018 empieza la vigencia de los vehículos a euro 4/IV y la regulación de gasohol/gasolina de alto octanaje a 50ppm.

El mismo caso ocurrió para el año 2022 y 2030, en donde a partir del 2022 empieza a regir los vehículos con estándar de emisión de euro 6/VI que consiste en un contenido de gasolina y azufre de 10 ppm.

Por lo cual presentan una reducción de 61% emitiendo 4 207 Tn/año en el 2022 y 70% en el 2030, siendo 4 619 Tn/año de emisiones por fuentes móviles vehiculares de PM_{2,5}. Además, son considerados como Ultra Bajo Azufre (UBA).

3.7.2. Concentración del contaminante NO_x y sus escenarios

Tabla 7.

Cantidad de las emisiones del contaminante NO_x, según su escenario

Escenarios	2016 (Tn/año)	2018 (Tn/año)	2022 (Tn/año)	2030 (Tn/año)
Alto Azufre	172074	188607	228058	340745
Bajo Azufre (50S)	152106	167266	203442	306772
Bajo Azufre -Alto Octanaje		164038	187453	253103
Ultra Bajo Azufre (10S)			178684	201593

Fuente: Elaboración propia

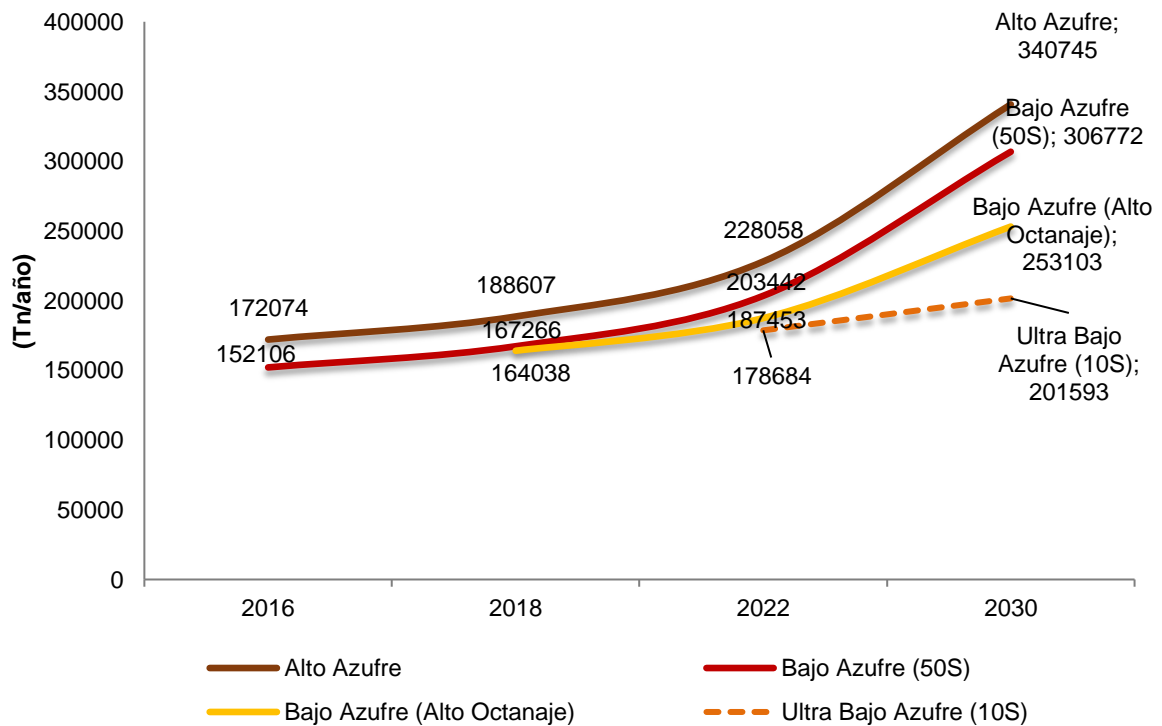


Figura 3. Cantidad de las emisiones del NO_x y sus escenarios

Fuente: Elaboración propia

Tal y como se observa en la figura 3, se muestra la cantidad de emisiones que genera el contaminante óxidos de nitrógeno. De ahí que en el año 2018, se muestra una reducción de emisiones en el escenario BA-AO de 2% (167 266 Tn/año) en comparación al escenario BA (164 038 Tn/año), sucediendo esto debido a la reducción de cantidad de azufre.

De igual manera sucedió una reducción en el año 2022 de 8% (203 442 Tn/año) con respecto al escenario 2022 BA-AO (187 453 Tn/año), pero en el escenario del año 2030 se genera una reducción de 20% (253 103 Tn/año) con respecto al escenario BA-AO (201 593 Tn/año).

3.7.3. Concentración del contaminante CO y sus escenarios

Tabla 8.

Cantidad de las emisiones del contaminante CO, según su escenario

Escenarios	2016 (Tn/año)	2018 (Tn/año)	2022 (Tn/año)	2030 (Tn/año)
Alto Azufre	296485	350192	428248	651201
Bajo Azufre (50S)	272905	301046	368192	559982
Bajo Azufre -Alto Octanaje		282636	334233	480193
Ultra Bajo Azufre (10S)			298971	442829

Fuente: Elaboración propia

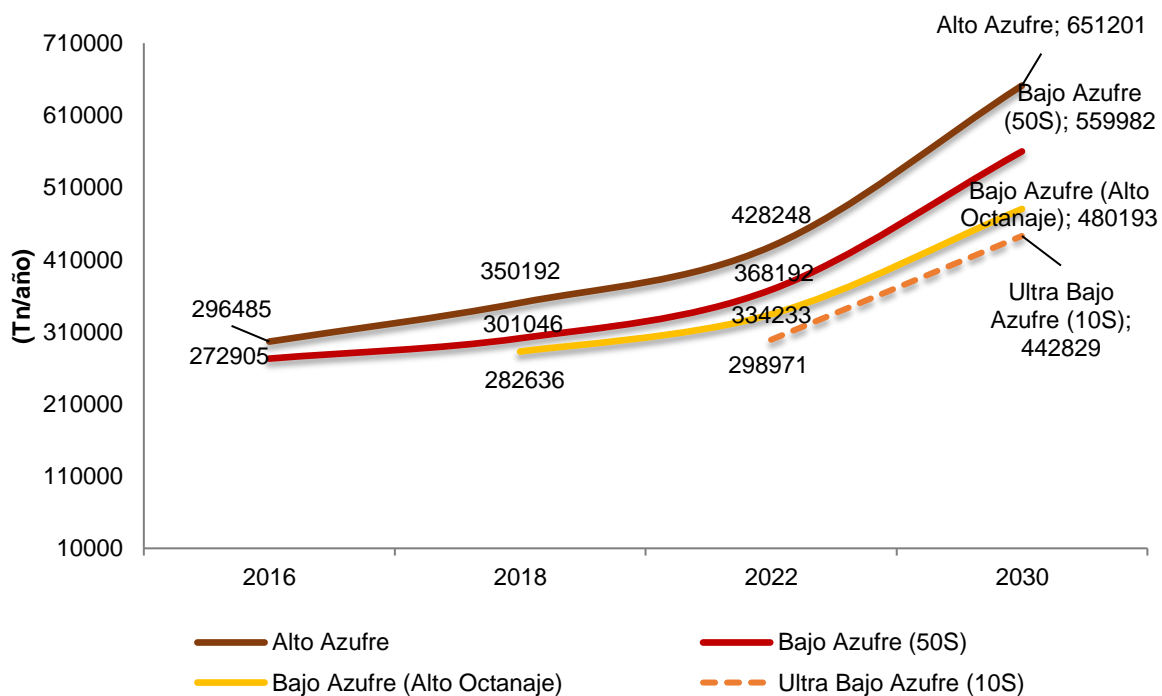


Figura 4. Cantidad de las emisiones del CO y sus escenarios
Fuente: Elaboración propia

En la figura 4, el crecimiento del parque automotor es representado por una línea de tendencia ascendente. Así mismo se observa que para el año 2018 las emisiones del escenario bajo azufre (BA) han reducido en un 14%, siendo 301 046 Tn/año en comparación con el escenario alto azufre (AA) que no presenta ninguna reducción. Además es importante mencionar que para el escenario AA no se consideró ninguna medida vinculada a las emisiones vehiculares, sin embargo para el escenario BA contenido de azufre se redujo a 50ppm.

De igual manera se observó que en el año 2018 el escenario bajo azufre-alto octanaje (BA-AO) presenta una reducción de 6% de emisiones, emitiendo 282 636 Tn/Año en comparación con el escenario BA, sucediendo esto a causa de que a partir del año 2018 empieza la vigencia de los vehículos a euro 4/IV y la regulación de gasohol/gasolina de alto octanaje a 50ppm.

El mismo caso sucedió para el año 2022 y 2030, en donde a partir del 2022 empieza a regir los vehículos con estándar de emisión de euro 6/VI que consiste en un contenido de gasolina y azufre de 10 ppm. Por lo cual el escenario Ultra Bajo Azufre (UBA) presenta una reducción de 15% emitiendo 298 971 Tn/año en el 2022 y 8 % en el 2030, siendo 442 829 Tn/año de emisiones por fuentes móviles vehiculares con respecto al escenario BA-AO.

3.7.4. Concentración del contaminante HC y sus escenarios

Tabla 9.

Cantidad de las emisiones del contaminante HC, según su escenario

Escenarios	2016 (Tn/año)	2018 (Tn/año)	2022 (Tn/año)	2030 (Tn/año)
Alto Azufre	34085	37097	44285	64814
Bajo Azufre (50S)	24582	26753	31931	46723
Bajo Azufre - Alto Octanaje		25652	29565	40565
Ultra Bajo Azufre (10S)			27652	38638

Fuente: Elaboración propia

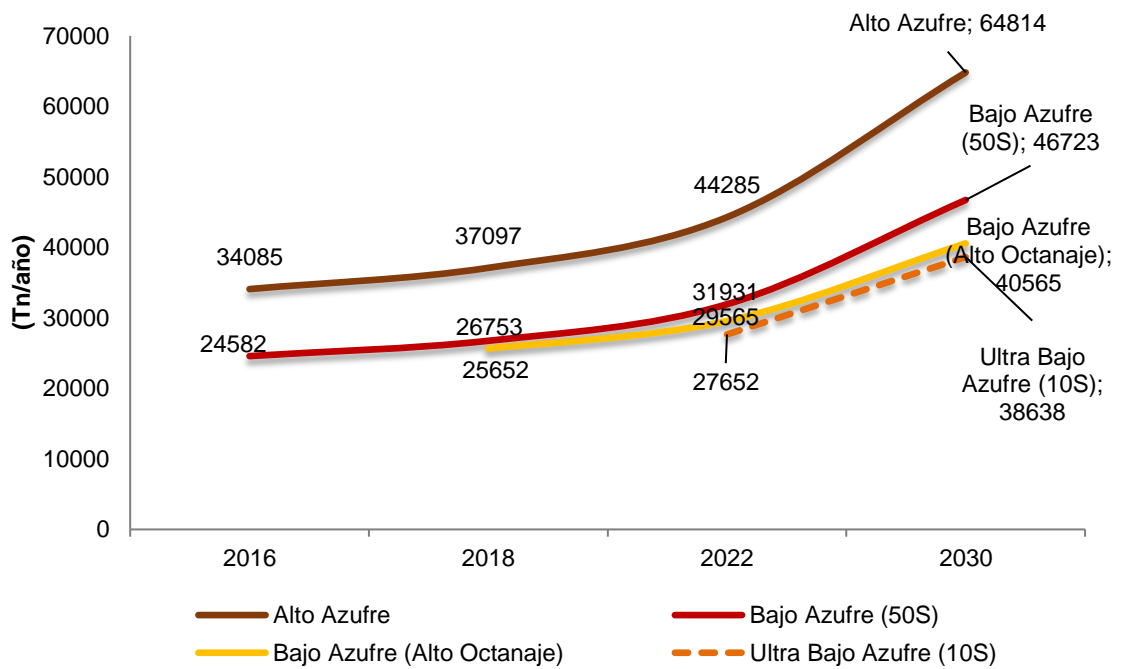


Figura 5. Cantidad de las emisiones del HC y sus escenarios
Fuente: Elaboración propia

En la figura 5, el crecimiento del parque automotor es representado por una línea de tendencia ascendente. Así mismo se observa que para el año 2018 las emisiones del escenario bajo azufre (BA) han reducido en un 28%, siendo 26 753 Tn/año en comparación con el escenario alto azufre (AA) que no presenta ninguna reducción.

Además es importante mencionar que para el escenario AA no se consideró ninguna medida vinculada a las emisiones vehiculares, sin embargo para el escenario BA contenido de azufre se redujo a 50ppm.

De igual manera se observó que en el año 2018 el escenario bajo azufre-alto octanaje (BA-AO) presenta una reducción de 4% de emisiones, emitiendo 25 652 Tn/Año en comparación con el escenario BA, sucediendo esto a causa de que a partir del año 2018 empieza la vigencia de los vehículos a euro 4/IV y la regulación de gasohol/gasolina de alto octanaje a 50ppm.

El mismo caso sucede para el año 2022 y 2030, en donde a partir del 2022 empieza a regir los vehículos con estándar de emisión de euro 6/VI que consiste en un contenido de gasolina y azufre de 10 ppm.

Por lo cual el escenario Ultra Bajo Azufre (UBA) presentan una reducción de 6% emitiendo 27 652 Tn/año en el 2022 y 5 % en el 2030, siendo 38 638 Tn/año de emisiones por fuentes móviles vehiculares de hidrocarburo en comparación con el escenario BA-AO.

3.7.5. Concentración del contaminante BC y sus escenarios

Tabla 10.

Cantidad de las emisiones del contaminante BC, según su escenario

Escenarios	2016 (Tn/año)	2018 (Tn/año)	2022 (Tn/año)	2030 (Tn/año)
Alto Azufre	4930	5469	6756	10432
Bajo Azufre (50S)	2228	2418	2873	4173
Bajo Azufre -Alto Octanaje		2362	2552	3065
Ultra Bajo Azufre (10S)			2422	2601

Fuente: Elaboración propia

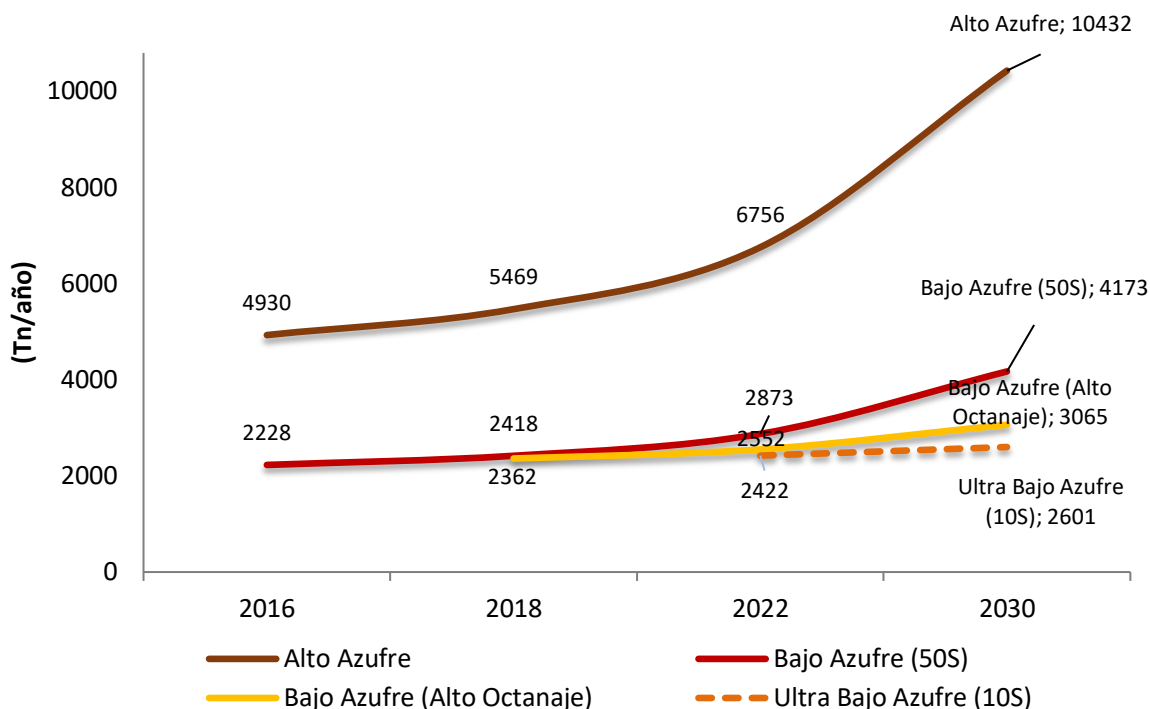


Figura 6. Cantidad de las emisiones del BC y sus escenarios
Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la figura 2 y 6 se indica, que ambas tienen la misma relación, puesto que el carbono negro es el mayor componente del material particulado 2,5 (PM_{2,5}).

Así mismo se observa que para el año 2018 las emisiones del escenario bajo azufre (BA) han reducido en un 56%, siendo 2 418 Tn/año en comparación con el escenario alto azufre (AA) que no presenta ninguna reducción.

Además es importante mencionar que para el escenario AA no se consideró ninguna medida vinculada a las emisiones vehiculares, sin embargo para el escenario BA contenido de azufre se redujo a 50ppm.

De igual manera se observó que en el año 2018 el escenario bajo azufre-alto octanaje (BA-AO) presenta una reducción de 57% de emisiones, emitiendo 2 362 Tn/Año en comparación con el escenario AA, sucediendo esto a causa

de que a partir del año 2018 empieza la vigencia de los vehículos a euro 4/IV y la regulación de gasohol/gasolina de alto octanaje a 50ppm.

El mismo caso sucede para el año 2022 y 2030, en donde a partir del 2022 empieza a regir los vehículos con estándar de emisión de euro 6/VI que consiste en un contenido de gasolina y azufre de 10 ppm. Por lo cual son considerados como escenarios Ultra Bajo Azufre y presentan una reducción de 4% emitiendo 2 422 Tn/año en el 2022, y 15 % en el 2030, siendo 2 601 Tn/año de emisiones por fuentes móviles vehiculares de hidrocarburo en comparación con el escenario BA-AO.

3.7.6. Concentración del contaminante CO₂ y sus escenarios

Tabla 11.

Cantidad de las emisiones del contaminante CO₂, según su escenario

Escenario	2016 (Tn/año)	2018 (Tn/año)	2022 (Tn/año)	2030 (Tn/año)
Alto Azufre	71621926	72706213	90222516	139436527
Bajo Azufre (50S)	71621926	72706213	90222516	139436527
Bajo Azufre (Alto Octanaje)		72706213	90222516	139436527
Ultra Bajo Azufre (10S)			90222516	139436527

Fuente: Elaboración propia

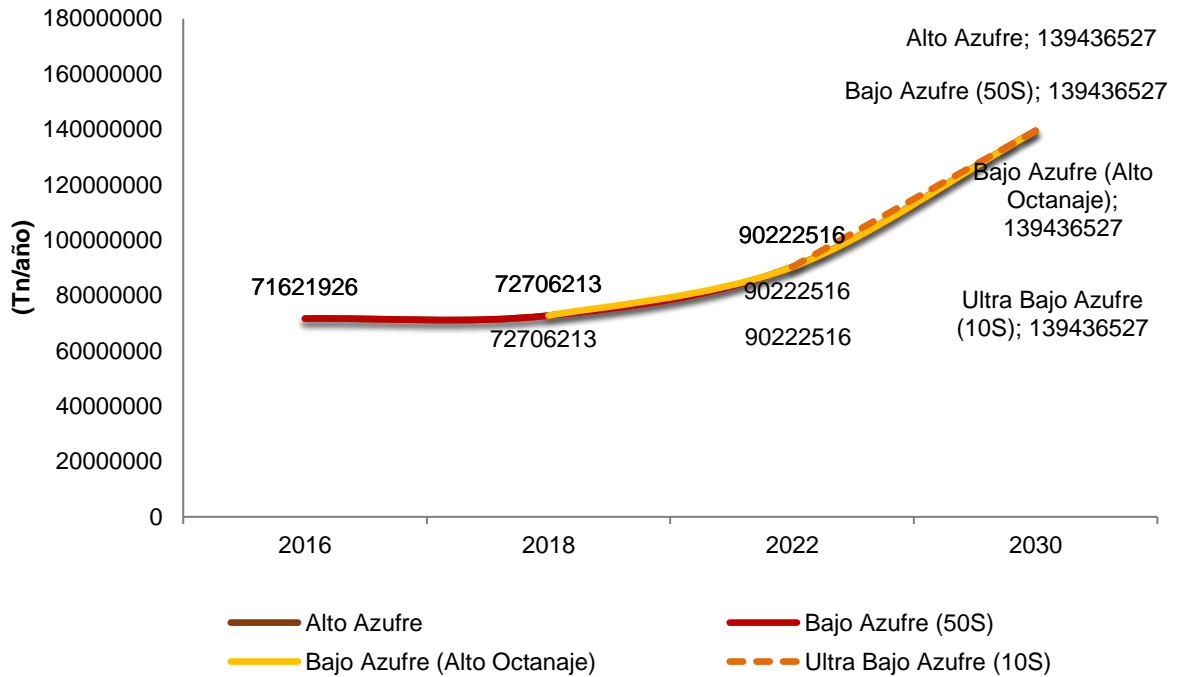


Figura 7. Cantidad de las emisiones del CO₂ y sus escenarios

Fuente: Elaboración propia

La figura 7, en todos los escenarios (AA, BA, BA-AO y UBA) presenta una línea de tendencia ascendente por cada año, puesto que el crecimiento del parque automotor se genera de forma ascendente y por la relación directa que existe entre el combustible y la cantidad de vehículos. Hay que mencionar, además que el contaminante dióxido de carbono depende de la calidad de combustible.

Por otro lado, el año 2018 (72 706 213 Tn/año) muestra un aumento de 1 084 287 Tn/año, con respecto al año 2016 (71 621 926 Tn/año). De igual manera el año 2022 (90 222 516 Tn/año) presenta 17 516 303 Tn/año de aumento en relación al año 2018.

Así mismo, el año 2030 (139 436 527 Tn/año) un aumento de 49 214 011 Tn/año con respecto al año 2022.

Tabla 12.

Cantidad de las emisiones del contaminante SO₂, según su escenario

Escenarios	2016 (Tn/año)	2018 (Tn/año)	2022 (Tn/año)	2030 (Tn/año)
Alto Azufre	163057	163174	200151	303920
Bajo Azufre (50S)	38765	38977	49189	80881
Bajo Azufre -Alto Octanaje		21908	27640	46535
Ultra Bajo Azufre (10S)			1721	5366

Fuente: Elaboración propia

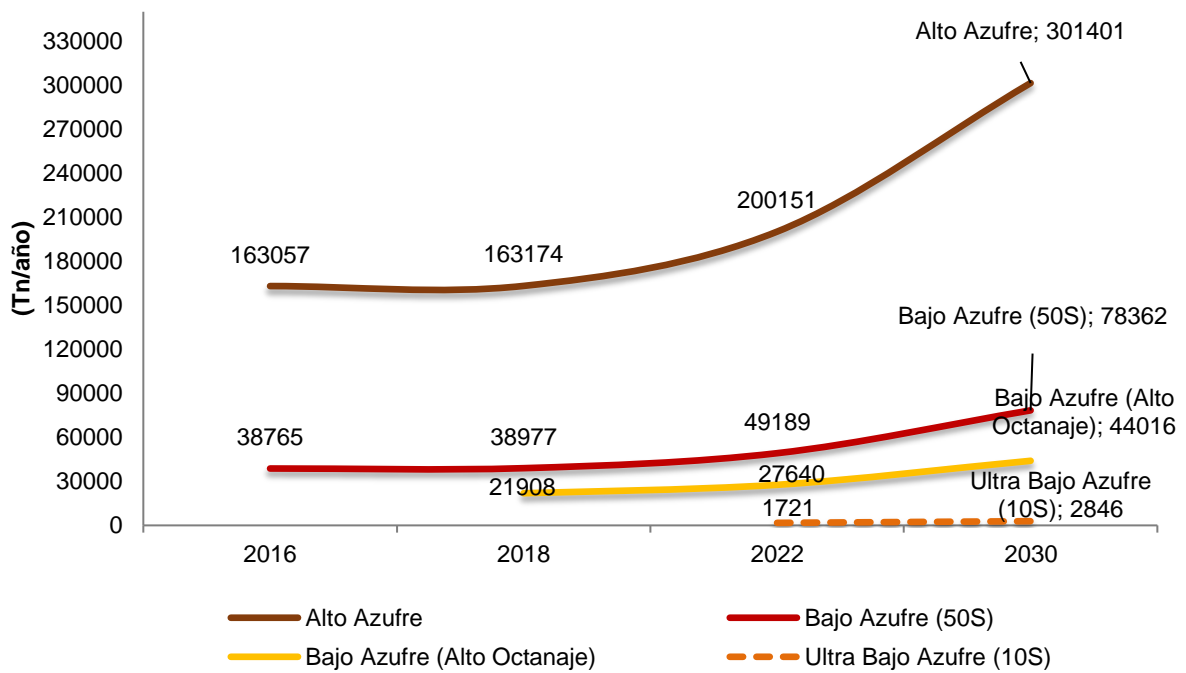


Figura 8. Cantidad de las emisiones del SO₂ y sus escenarios

Fuente: Elaboración propia

En la figura 8, el crecimiento del parque automotor es representado por una línea de tendencia ascendente. Así mismo resaltar que el contaminante dióxido de azufre tiene una relación directa con la calidad de combustible y con la cantidad de azufre.

Es por ello, que se observa que para el año 2018 las emisiones del escenario bajo azufre (BA) han reducido en un 76% siendo 38 977 Tn/año en comparación con el escenario alto azufre (AA) que no presenta ninguna reducción.

Además es importante mencionar que para el escenario AA no se consideró ninguna medida vinculada a las emisiones vehiculares, sin embargo para el escenario BA contenido de azufre se redujo a 50ppm.

De igual manera se observó que en el año 2018 el escenario bajo azufre-alto octanaje (BA-AO) presenta una reducción de 44% de emisiones, emitiendo 21 908 Tn/Año en comparación con el escenario BA, sucediendo esto a causa de que a partir del año 2018 empieza la vigencia de los vehículos a euro 4/IV y la regulación de gasohol/gasolina de alto octanaje a 50ppm.

El mismo caso ocurrió para el año 2022 y 2030, en donde a partir del 2022 empieza a regir los vehículos con estándar de emisión de euro 6/VI que consiste en un contenido de gasolina y azufre de 10 ppm.

Por lo cual el escenario Ultra Bajo Azufre (UBA) presenta una reducción muy significativa de 94% emitiendo 1 721 Tn/año en el año 2022 y 94% en el 2030, siendo 2 846 Tn/año de emisiones por fuentes móviles vehiculares de SO₂, en comparación con el escenario BA-AO.

3.8. Discusión

La calidad de combustible y la cantidades azufre del parque automotor tienen una relación directa con la contaminación del aire, los cuales son mostrados en los valores del escenario BA-AO. Además, cabe resaltar que en la actualidad Perú se encuentra en el escenario BA-AO, lo cual se encuentra especificado en la Tabla 5.

También el presente estudio muestra resultados más concisos y completos, a diferencia de la elaboración de los otros inventarios (PISA I y Estimación de emisiones vehiculares de Lima Metropolitana), esto siendo debido a que se consideran las emisiones de los contaminantes más principales del parque automotor, los cuales son: $PM_{2,5}$, NOX, CO, HC, BC, SO_2 y CO_2 .

Además, el inventario de emisiones ha sido elaborado en base a la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA, según sus siglas en inglés) a diferencia del desarrollo de los inventarios del PISA I (Modelo IPECA) y de la estimación de emisiones vehicular de Lima Metropolitana (Modelo Leap). Así mismo, la metodología del proyecto ha sido desarrollado de acuerdo a los factores de emisiones de "EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook" de la Agencia Ambiental Europea (EEA, según sus siglas en inglés) y para una mayor precisión de resultados los factores de emisión han sido ajustado dos veces. Mientras tanto la formulación de proyecciones nos permite conocer el grado de aumento que se dará en el año 2030 de las cantidades de emisiones de los contaminantes.

Por otro lado, se puede observar en el presente proyecto la incorporación de cuatro escenarios diferentes, los cuales se basan en la calidad del combustible y la cantidad de azufre, siendo ellos los siguientes: Alto Azufre (AA), Bajo Azufre (BA), Bajo Azufre – Alto Octanaje (BA-AO) y Ultra Bajo Azufre (UBA). Por lo cual, dichos escenarios nos permite tener una referencia sobre las emisiones de los contaminantes y como también lo que sucedería en caso se realizara cambios en la cantidad de azufre.

CONCLUSIONES

Las diferencias del presente proyecto con los anteriores inventarios de emisiones son las siguientes: metodología, factor de emisión, variables, la cantidad de los contaminantes y el presente proyecto consideró el parque automotor de Callao. Además se realizó la incorporación de escenarios y de proyecciones al año 2030.

Se elaboró un inventario de emisiones de los contaminantes que genera el parque automotor de Lima Metropolitana y Callao, por lo cual se actualizó el inventario del año 2002 y 2014. Siendo el crecimiento del parque automotor un 6%.

Los vehículos que presentan mayor cantidad de emisiones son aquellos vehículos de estándar de emisión Pre euro y de calidad de combustible de diésel.

El parque automotor de Lima Metropolitana y Callao está conformado por 35,39% de automóviles, 23,18% motos, 12,46% station wagon, 10,36% combi, 7,18% pick up, 5,11% camión, 2,75% remolcador, 2,21% ómnibus y 1,36% camionetas.

Se realizaron cuatro escenarios diferentes, concluyendo que el escenario UBA genera menos cantidades de emisiones, esto debido a que se considera la cantidad de azufre de 10ppm tanto en la calidad de combustible de gasolina y de diésel. Además, en el escenario Ultra Bajo Azufre (UBA) la tecnología Euro 6/ VI utiliza un Filtro de Partículas Diésel (DPF) que genera una reducción significativa en el material particulado en los vehículos a diésel, siendo por ello que ocurre una reducción de black carbón. También se obtuvo las cantidades de emisiones de los contaminantes siguientes: PM_{2,5}, NOX, CO, HC, BC, SO₂ y CO₂.

Los estándares de emisión (euro) generan una mejora en las emisiones de los contaminantes PM_{2,5}, NOX, CO, HC, BC, SO₂ y CO₂; debido a su tecnología más limpia. Por lo cual se concluye que mayor Euro, menores emisiones.

Las emisiones de los contaminantes PM_{2,5}, NOX, CO, HC, BC, SO₂ y CO₂. Se encuentran vinculadas al estándar tecnológico de los vehículos y no directamente a la renovación vehicular.

Las emisiones de SO₂ están vinculadas al contenido de azufre en los combustibles y Las emisiones de CO₂ se encuentran relacionadas directamente al tipo de combustible y al crecimiento de la flota vehicular.

El escenario UBA presenta una menor cantidad de emisiones, resultado de la inserción del estándar de emisión Euro 6/VI, la cual contiene 10 ppm de azufre.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un programa de renovación de parque vehicular para disminuir los vehículos de categoría pre euro y de esta manera se pueda reducir las emisiones de los contaminantes.

Promover el uso de combustibles más limpios y también realizar un programa de movilidad eléctrica. De esta forma se lograría reducir el contaminante de CO₂.

Las instituciones competentes al parque automotor deben de considerar optar por el escenario de Ultra Bajo Azufre ya que contienen un 10 ppm de azufre y genera menor cantidad de emisiones contaminantes. Además contribuirían con un ambiente saludable.

Después de obtener los resultados, se recomienda utilizar un inventario de emisiones para obtener la cantidad de emisiones de los contaminantes procedentes del parque automotor.

Para generar una reducción de emisiones, el parque automotor debería dejar de utilizar combustibles, fósiles y empezar a consumir combustibles limpios como por ejemplo la electricidad, etanol, gas natural y entre otros.

Por último se recomienda actualizar cada año el inventario de emisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Protección Ambiental de los Estado Unidos - USEPA (2017). Guía para la Estimación de Emisiones AP-42.
- Caballero, M. (2011). *Análisis de emisiones de vehículos livianos según ciclos de conducción específicos para la región metropolitana*. Chile.
- Carcelén, E. (2014). *Estudio de las emisiones atmosféricas de buses urbanos con motores diésel en Lima y Callao en base a la metodología Copert*. Lima y Callao.
- Centro Mario Molinda de Chile. (2018). *Inventario de emisiones del transporte público de Trujillo*.
- Comité de Gestión de la Iniciativa de Aire Limpio (2002). *Primer Plan Integral de Saneamiento Ambiental (PISA)*.
- CONAM. (2005). *La calidad de aire en Lima y su impacto en la salud y la vida de sus habitantes*. Perú.
- Dawidowski, L., Sánchez Ccoyllo, O., & Alarcón, N. (2014). *Estimación de emisiones vehiculares en Lima Metropolitana*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-6.pdf>
- Diario La República. (13 de Setiembre de 2010). *MEM: En Octubre se inicia uso de Gasohol*, pág. 1.
- Echarri. (2007). *Población, ecología y ambiente*.
- EPA. (2016). *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*. Obtenido de <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/index.html>
- EPA. (s.f.). *AP-42: Compilation of Air Emissions Factors*. Obtenido de <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-Compilation-air-emissions-factors>
- Euskadi. (2016). *Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda*. Obtenido de <http://www.euskadi.eus/informacion/material-particulado/web01-a2ingair/es/>

- Exterior, C. (2018). *Aumento continuo del parque automotor, un problema que urge solucionar*.
- Herrera, J. & Rodríguez, S. & y Rojas, J. (2012). *Determinación de las emisiones de contaminantes de aire generadas en fuente móviles*. Costa Rica.
- Hilario, R. (2017). *Emisiones contaminantes de vehículos del distrito de Huancayo*.
- Hu, X., Waller, L., Lyapustin, A., Wang, Y., Hamdam, M., Crosson, W., . . . Liu, Y. (26 de Setiembre de 2013). *Estimación de las concentraciones de PM_{2,5} a nivel del suelo en el sureste de Estados Unidos*. Obtenido de http://sites.bu.edu/haqast-highrestt/files/2018/02/Hu_et_al_2014_.pdf
- IDEAM. (Diciembre de 2007). Obtenido de Informe técnico sobre gases de efecto invernadero y cambio climático: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>
- INECC. (2007). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Obtenido de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/tipos.html>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2013). *Guía metodológica para la estimación de fuentes fijas*. México: Sánchez.
- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 2 Energía*. Obtenido de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf
- La Coalición Clima y Aire Limpio. (s.f.). *Black carbon*. Obtenido de <http://www.ccacoalition.org/ru/node/1981>
- Liu, H. (2008). Analysis of the impacts of fuel sulfur on vehicle emissions in China. *Fuel*, 3147-3154.
- Lents, J., Davis, N., Nikkila, N., Osses, M., (2004) Lima vehicle activity study. California: International Sustainable Systems Research Center.

McGraw. (2009). *Contaminación Atmosférica, capítulo 10*. España.

Mendoza, M. (2014). *Valoración de contaminantes del aire generada por fuentes móviles para la gestión de la calidad del aire en el cercado de Tacna, 2011-2012*. Tacna.

Ministerio de Energía y Minas. (2011). Decreto Supremo N° 024-2011-EM. Obtenido de http://srvapp03.osinerg.gob.pe:8888/snl/normaPortalGeneral.htm?_formAction=viewFile&filename=1962-2513&tipoDoc=PDF

Ministerio de Energía y Minas. (2017). Decreto Supremo N° 025-2017-EM que establece medidas relacionadas al contenido de azufre en el diesel, gasolina y gasohol para su comercialización y uso. Obtenido de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/establecen-medidas-relacionadas-al-contenido-de-azufre-en-el-decreto-supremo-n-025-2017-em-1563113-4/>

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (Julio de 1998). Decreto Supremo N° 019-98-MTC. Obtenido de http://srvapp03.osinerg.gob.pe:8888/snl/normaPortalGeneral.htm?_formAction=viewFile&filename=990-990&tipoDoc=WORD.

Ministerio del Ambiente. (s.f.). Hoja de cálculo de la Guía de energía: fuentes móviles. Obtenido de <http://infocarbono.minam.gob.pe/energia-movil/>

Ministerio del Ambiente. (2012). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.

Ministerio del Ambiente. (19 de Agosto de 2016). *Estudio de desempeño ambiental. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/esda/6-1-4-efectos-en-la-salud-de-las-personas-que-produce-la-contaminacion-estudios-que-estimen-el-impacto-de-la-contaminacion-en-la-salud-de-la-poblacion>*

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2017). *Guía para la elaboración de emisiones atmosféricas*.

- Ministerio del Ambiente. (s.f.). Huella del carbono. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/semanaclimatica/wp-content/uploads/sites/104/2015/06/1La-Huella-de-Carbono-y-Neutralizaci%C3%B3n-como-instrumentos-de-sostenibilidad.pdf>
- Ministerio de Vivienda. (Noviembre de 2004). Primer Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima - Callao 2005-2010.
- NAMA Support proyect. (2018). *iseño de programa de chatarreo y renovación vehicular en el Perú: Identificación de impactos y costos de la implementación de programa de renovación.*
- OMS. (Setiembre de 2016). *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud.* Obtenido de <http://origin.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
- OMS. (2018). *Organismo Mundial de la Salud.* Obtenido de https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/air_pollution/es/
- OMS. (10 de Enero de 2018). *Organización Mundial de la Salud.* Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/detail/10-01-2018-un-environment-and-who-agree-to-major-collaboration-on-environmental-health-risks>
- ONU. (15 de Marzo de 2019). *Organización de las Naciones Unidas medio ambiente.* Obtenido de <https://www.unenvironment.org/es/news-and-stories/comunicado-de-prensa/china-sera-anfitrión-global-del-día-mundial-del-medio>
- Proyecto Planificación ante el Cambio Climático. (2014). *Escenarios de Mitigación del Cambio Climático en el Perú al 2050: Construyendo un Desarrollo Bajo en Emisiones. Anexo 4.3.*
- Rojas, A. (2015). *Estimación de emisiones contaminantes provenientes de fuentes móviles en la jurisdicción CAR.* Bogotá, Colombia.
- Saavedra. (2014). *Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular.* Lima.

Sánchez, O., Ordoñez, C., Muñoz, Á., & Llacza, A. (2016). Estudio de modelación de la materia particulada en Lima con el modelo WRF-Chem. *Investigación en Ingeniería Aplicada*, 14.

SWISSCONTACT. (Mayo de 2014). *laboración de propuesta para el uso de etiquetado energético en vehículos livianos en el Perú. Informe Final.*

UNICEF. (2016). *Aire limpio para los niños*. New York ,USA. Obtenido de https://www.unicef.org/publications/files/UNICEF_Clear_the_Air_for_Children_30_Oct_2016.pdf

Valencia, M. (2017). *Efecto de medidas administrativas en la reducción de las emisiones de contaminantes criterio por fuentes móviles vehiculares, sector 2-Villa el Salvador, 2016*. Villa el Salvador.

ANEXOS

Anexo 1. Factores de emisión de EMEP para diésel y gasolina

Tabla 13.

Factores de emisión ajustados para vehículos a Diésel B5

Factores de Emisión (g/km) para vehículos a diésel						
Categoría Vehicular	Euro standard	BC	PM	NOx	CO	COVNM
Autos y Station Wagon	Pre-Euro	0.117	0.213	0.550	0.661	0.150
	Euro 2	0.065	0.081	0.829	0.779	0.074
	Euro 3	0.071	0.083	0.841	0.177	0.040
	Euro 4	0.152	0.175	1.320	0.227	0.036
	Euro 6	0.0017	0.008	0.387	0.121	0.020
Pick-up, Panel, Rural	Pre-Euro	0.189	0.343	1.671	1.288	0.125
	Euro 2	0.138	0.173	1.412	1.519	0.316
	Euro 3	0.142	0.167	1.121	0.941	0.190
	Euro 4	0.201	0.231	1.891	0.926	0.089
	Euro 6	0.0010	0.005	0.564	0.185	0.089
Ómnibus	Pre-Euro	0.438	0.875	16.611	0.955	1.872
	Euro 2	0.211	0.325	12.387	1.121	0.983
	Euro 3	0.310	0.443	10.208	2.068	0.826
	Euro 4	0.195	0.260	12.337	0.214	0.056
	Euro 6	0.0019	0.013	1.359	0.214	0.561
Camión y remolcador	Pre-Euro	0.161	0.32203	8.980	2.047	0.730
	Euro 2	0.100	0.15373	6.367	2.375	0.439
	Euro 3	0.132	0.18835	4.679	1.933	0.382
	Euro 4	0.068	0.09078	6.032	0.175	0.020
	Euro 6	0.0007	0.00451	0.662	0.175	0.020

Fuente: Factores de Emisión (EMEP/EEA – 2016) ajustado a biocombustible.

Tabla 14.
Factores de emisión para vehículos a chispa

Factores de Emisión (g/km) para vehículos a chispa						
Categoría Vehicular	Euro standard	BC	PM	NOx	CO	COVNM
Gasolina						
Autos y station wagon	Pre-Euro	0.00066	0.002	2.53	24.62	2.158
	Euro 2	0.00055	0.002	0.28	2.26	0.282
	Euro 3	0.00017	0.001	0.13	2.54	0.148
	Euro 4	0.00017	0.001	0.16	1.37	0.104
	Euro 6		0.002	0.16	1.37	0.104
Pick-up. Panel. Rural, Camión y remolcador	Pre-Euro	0.00069	0.002	3.09	25.50	3.440
	Euro 2	0.00058	0.002	0.25	6.54	0.342
	Euro 3	0.00017	0.001	0.17	7.05	0.236
	Euro 4	0.00017	0.001	0.16	4.44	0.205
	Euro 6		0.002	0.16	2.87	0.154
Motos*	Promedio	0.00228	0.011	0.330	17.860	1.330
Gas Natural Vehicular -GNV-						
Autos y Station Wagon	Euro 4**		0.001	0.056	0.616	0.035
Ómnibus	Pre-Euro		0.02	16.500	8.400	0.371
	Euro 2		0.01	15.000	2.700	0.313
	Euro 3		0.01	10.000	1.000	0.052
	Euro 4		0.005	2.500	1.000	0.045
	Euro 6		0.005	2.500	1.000	0.045
Gas Licuado de Petróleo -GLP-						
Autos. Taxi. station wagon	Pre-Euro		0.002	2.36	6.83	1.05
	Euro 2		0.002	0.18	2.48	0.34
	Euro 3		0.001	0.09	1.79	0.12
	Euro 4		0.001	0.06	0.62	0.10
	Euro 6		0.001	0.06	0.62	0.10

Ómnibus***	Pre-Euro	0.009	9.44	27.33	4.20
	Euro 2	0.009	0.72	9.92	1.37
	Euro 3	0.004	0.36	7.16	0.48
	Euro 4	0.004	0.22	2.48	0.40
	Euro 6	0.004	0.22	2.48	0.40

Fuente: Factores de Emisión (EMEP/EEA – 2016) Nivel 2 Anexo 2: Factores de correlación para diésel y gasolina

Tabla 15.
Factores de correlación para vehículos a gasolina

CONTAMINANTE	ESTÁNDAR DE EMISIÓN	800	500	150	50 ppm	10
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
NO _x	Pre euro*	100,0%	98,6%	95,0%	91,7%	86,8%
	Euro2	108,4%	100,0%	89,6%	86,0%	63,3%
	Euro3	129,1%	122,5%	100,0%	93,7%	88,6%
	Euro4	257,2%	207,9%	136,4%	100,0%	88,3%
	Euro5	257,2%	207,9%	136,4%	100,0%	88,3%
CO	Pre euro*	100,0%	96,7%	88,3%	80,6%	69,4%
	Euro2	111,0%	100,0%	84,4%	76,9%	69,0%
	Euro3	139,6%	128,5%	100,0%	81,3%	81,1%
	Euro4	220,9%	179,9%	124,5%	100,0%	77,0%
	Euro5	220,9%	179,9%	124,5%	100,0%	77,0%
HC	Pre euro*	100,0%	97,3%	90,4%	84,1%	74,9%
	Euro2	112,5%	100,0%	82,7%	74,5%	66,3%
	Euro3	124,7%	115,0%	100,0%	89,7%	81,5%
	Euro4	160,1%	140,7%	113,3%	100,0%	86,4%
	Euro5	160,1%	140,7%	113,3%	100,0%	86,4%

(*) Se decidió reemplazar la denominación Euro 1 por el Pre-euro para adaptarlo al contexto peruano.

Fuente: Liu, H, et al, (2008)

Tabla 16.
Factores de correlación para vehículos a diésel

CONTAMINANTE	ESTÁNDAR DE EMISIÓN	2000 ppm	500 ppm	350 ppm	50 ppm	10 ppm
NOx	Pre euro*	100,0%	86,9%	85,6%	83,0%	82,7%
	Euro2	115,0%	100,0%	98,5%	95,5%	95,1%
	Euro3	108,1%	100,7%	100,0%	98,5%	98,3%
	Euro4	226,1%	129,1%	119,4%	100,0%	97,4%
	Euro5	226,1%	129,1%	119,4%	100,0%	97,4%
CO	Pre euro*	100,0%	36,5%	30,1%	17,4%	15,7%
	Euro2	274,0%	100,0%	82,6%	47,8%	43,2%
	Euro3	206,9%	109,7%	100,0%	80,6%	78,0%
	Euro4	256,9%	136,2%	124,1%	100,0%	96,8%
	Euro5	256,9%	136,2%	124,1%	100,0%	96,8%
HC	Pre euro*	100,0%	44,3%	38,8%	27,6%	26,1%
	Euro2	225,6%	100,0%	87,4%	62,3%	59,0%
	Euro3	214,7%	110,4%	100,0%	79,1%	76,4%
	Euro4	271,3%	139,5%	126,4%	100,0%	96,5%
	Euro5	271,3%	139,5%	126,4%	100,0%	96,5%
PM ₁₀	Pre euro*	100,0%	65,2%	61,7%	54,9%	54,0%
	Euro2	153,5%	100,0%	94,7%	84,2%	82,8%
	Euro3	222,0%	111,1%	100,0%	77,8%	74,9%
	Euro4	585,5%	212,0%	174,7%	100,0%	75,0%
	Euro5	585,5%	212,0%	174,7%	100,0%	75,0%

(*) Se decidió reemplazar la denominación Euro 1 por el Pre-euro para adaptarlo al contexto peruano,

Fuente: Liu, H, et al, (2008)

Tabla 17.
Porcentaje de BC en PM

Categoría	Euro standard	BC/PM10
Petrol PC and LCV	Open Loop	30%
	Euro 2	25%
	Euro 3	15%
	Euro 4	15%
	Conventional	55%
	Euro 2	80%
	Euro 3	85%
	Euro 4	87%
Diesel PC and LCV*	Euro 3, Euro 4, Euro 5 equiped with DPF and fuel additive	10%
	Euro 3, Euro 4, Euro 5 equipped with a catalyzed DPF	20%
	Conventional	50%
Diesel HDV**	Euro II	65%
	Euro III	70%
	Euro IV	75%
	Euro V	75%
	Euro VI	15%

(*) Vehículo comercial ligero < 3,5 toneladas

(**) Vehículo pesado > 3,5 toneladas

(***) Se consideró el Euro V como Euro VI

Fuente: Factores de Emisión (EMEP/EEA – 2016) Nivel 2

Tabla 18.
Porcentaje del estándar de emisión, según el escenario AA

Año	TPU	Estándar de emisión				
			Diésel	Gasolina	GLP	GNV
2016	Taxi	Pre Euro	78.7%	10.1%	36.2%	26.5%
		Euro 2	2.6%	15.3%	18.1%	16.9%
		Euro 3	18.7%	74.6%	45.7%	56.6%
	Transporte de carga	Pre Euro	18.2%	9.4%	12.2%	3.2%
		Euro 2	5.8%	0.8%	1.1%	3.2%
		Euro 3	76.0%	89.8%	86.7%	93.5%
	Transporte de pasajeros	Pre Euro	45%	24%	12%	3%
		Euro 2	2%	2%	4%	1%
		Euro 3	53%	74%	84%	96%
2018	Taxi	Pre Euro	70.1%	9.0%	32.2%	23.6%
		Euro 2	2.3%	13.6%	16.1%	15.0%
		Euro 3	27.6%	77.4%	51.7%	61.4%
	Transporte de carga	Pre Euro	16.2%	8.4%	10.9%	2.9%
		Euro 2	5.1%	0.7%	1.0%	2.9%
		Euro 3	78.7%	90.9%	88.1%	94.3%
	Transporte de pasajeros	Pre Euro	39.8%	21.6%	10.7%	2.6%
		Euro 2	1.7%	1.6%	3.3%	0.7%
		Euro 3	58.5%	76.8%	86.0%	96.7%
2022	Taxi	Pre Euro	55.5%	7.1%	25.5%	18.7%
		Euro 2	1.8%	10.8%	12.8%	11.9%
		Euro 3	42.7%	82.1%	61.7%	69.4%
	Transporte de carga	Pre Euro	12.8%	6.6%	8.6%	2.3%
		Euro 2	4.1%	0.5%	0.8%	2.3%
		Euro 3	83.1%	92.8%	90.6%	95.5%
	Transporte de pasajeros	Pre Euro	31.5%	17.1%	8.5%	2.1%
		Euro 2	1.4%	1.3%	2.6%	0.6%
		Euro 3	67.2%	81.7%	88.9%	97.4%
2030	Taxi	Pre Euro	34.8%	4.5%	16.0%	11.7%
		Euro 2	1.2%	6.8%	8.0%	7.5%
		Euro 3	64.0%	88.7%	76.0%	80.8%

Transporte de carga	Pre Euro	8.0%	4.2%	5.4%	1.4%
	Euro 2	2.6%	0.3%	0.5%	1.4%
	Euro 3	89.4%	95.5%	94.1%	97.1%
Transporte de pasajeros	Pre Euro	19.8%	10.7%	5.3%	1.3%
	Euro 2	0.8%	0.8%	1.6%	0.4%
	Euro 3	79.4%	88.5%	93.0%	98.4%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19.
Porcentaje del estándar de emisión, según el escenario BA

Año	TPU	Emisión de				
		estándar	Diésel	Gasolina	GLP	GNV
2016	Taxi	Pre Euro	78.7%	10.1%	36.2%	26.5%
		Euro 2	2.6%	15.3%	18.1%	16.9%
		Euro 3	18.7%	74.6%	45.7%	56.6%
	Transporte de carga	Pre Euro	18.2%	9.4%	12.2%	3.2%
		Euro 2	5.8%	0.8%	1.1%	3.2%
		Euro 3	76.0%	89.8%	86.7%	93.5%
	Transporte de pasajeros	Pre Euro	44.7%	24.2%	12.0%	2.9%
		Euro 2	1.9%	1.8%	3.7%	0.8%
		Euro 3	53.4%	74.0%	84.3%	96.3%
2018	Taxi	Pre Euro	70.1%	9.0%	32.2%	23.6%
		Euro 2	2.3%	13.6%	16.1%	15.0%
		Euro 3	27.6%	77.4%	51.7%	61.4%
	Transporte de carga	Pre Euro	16.2%	8.4%	10.9%	2.9%
		Euro 2	5.1%	0.7%	1.0%	2.9%
		Euro 3	78.7%	90.9%	88.1%	94.3%
	Transporte de pasajeros	Pre Euro	39.8%	21.6%	10.7%	2.6%
		Euro 2	1.7%	1.6%	3.3%	0.7%
		Euro 3	58.5%	76.8%	86.0%	96.7%
2022	Taxi	Pre Euro	55.5%	7.1%	25.5%	18.7%
		Euro 2	1.8%	10.8%	12.8%	11.9%
		Euro 3	42.7%	82.1%	61.7%	69.4%

	Transporte de carga	Pre Euro	12.8%	6.6%	8.6%	2.3%
		Euro 2	4.1%	0.5%	0.8%	2.3%
		Euro 3	83.1%	92.8%	90.6%	95.5%
	Transporte de pasajeros	Pre Euro	31.5%	17.1%	8.5%	2.1%
		Euro 2	1.4%	1.3%	2.6%	0.6%
		Euro 3	67.2%	81.7%	88.9%	97.4%
	Taxi	Pre Euro	34.8%	4.5%	16.0%	11.7%
		Euro 2	1.2%	6.8%	8.0%	7.5%
		Euro 3	64.0%	88.7%	76.0%	80.8%
2030	Transporte de carga	Pre Euro	8.0%	4.2%	5.4%	1.4%
		Euro 2	2.6%	0.3%	0.5%	1.4%
		Euro 3	89.4%	95.5%	94.1%	97.1%
	Transporte de pasajeros	Pre Euro	19.8%	10.7%	5.3%	1.3%
		Euro 2	0.8%	0.8%	1.6%	0.4%
		Euro 3	79.4%	88.5%	93.0%	98.4%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20.*Porcentaje del estándar de emisión, según el escenario BA-AO*

Año	TPU	Estándar de emisión	Estándar de emisión			
			Diésel	Gasolina	GLP	GNV
2018	Taxi	Pre Euro	70.3%	9.0%	32.3%	23.6%
		Euro 2	2.3%	13.7%	16.2%	15.1%
		Euro 3	22.0%	71.9%	46.2%	55.9%
		Euro 4	5.4%	5.4%	5.4%	5.4%
	Transporte de carga	Pre Euro	16.2%	8.4%	10.9%	2.9%
		Euro 2	5.2%	0.7%	1.0%	2.9%
		Euro 3	73.2%	85.5%	82.7%	88.9%
		Euro 4	5.4%	5.4%	5.4%	5.4%
	Transporte de pasajeros	Pre Euro	39.9%	21.6%	10.7%	2.6%
		Euro 2	1.7%	1.6%	3.3%	0.7%
		Euro 3	53.0%	71.4%	80.6%	91.3%
		Euro 4	5.4%	5.4%	5.4%	5.4%
2022	Taxi	Pre Euro	56.3%	7.2%	25.9%	18.9%
		Euro 2	1.9%	11.0%	12.9%	12.1%
		Euro 3	17.6%	57.6%	37.0%	44.8%
		Euro 4	24.2%	24.2%	24.2%	24.2%
	Transporte de carga	Pre Euro	13.0%	6.7%	8.7%	2.3%
		Euro 2	4.1%	0.6%	0.8%	2.3%
		Euro 3	58.7%	68.5%	66.3%	71.2%
		Euro 4	24.2%	24.2%	24.2%	24.2%
	Transporte de pasajeros	Pre Euro	32.0%	17.3%	8.6%	2.1%
		Euro 2	1.4%	1.3%	2.6%	0.6%
		Euro 3	42.5%	57.2%	64.6%	73.1%
		Euro 4	24.2%	24.2%	24.2%	24.2%
2030	Taxi	Pre Euro	35.9%	4.6%	16.5%	12.1%
		Euro 2	1.2%	7.0%	8.2%	7.7%
		Euro 3	11.2%	36.7%	23.6%	28.6%
		Euro 4	51.7%	51.7%	51.7%	51.7%

Transporte de carga	Pre Euro	8.3%	4.3%	5.6%	1.5%
	Euro 2	2.6%	0.4%	0.5%	1.5%
	Euro 3	37.4%	43.7%	42.3%	45.4%
	Euro 4	51.7%	51.7%	51.7%	51.7%
Transporte de pasajeros	Pre Euro	20.4%	11.0%	5.5%	1.3%
	Euro 2	0.9%	0.8%	1.7%	0.4%
	Euro 3	27.1%	36.5%	41.2%	46.6%
	Euro 4	51.7%	51.7%	51.7%	51.7%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21.*Porcentaje del estándar de emisión, según el escenario UBA*

Año	TPU	Estándar de emisión				
			Diésel	Gasolina	GLP	GNV
2022	Taxi	Pre Euro	56.9%	7.3%	26.2%	19.1%
		Euro 2	1.9%	11.1%	13.1%	12.2%
		Euro 3	17.8%	58.3%	37.4%	45.3%
		Euro 4	19.0%	19.0%	19.0%	19.0%
		Euro 6	4.3%	4.3%	4.3%	4.3%
	Transporte de carga	Pre Euro	13.2%	6.8%	8.8%	2.3%
		Euro 2	4.2%	0.6%	0.8%	2.3%
		Euro 3	59.3%	69.3%	67.0%	72.0%
		Euro 4	19.0%	19.0%	19.0%	19.0%
		Euro 6	4.3%	4.3%	4.3%	4.3%
	Transporte de pasajeros	Pre Euro	32.3%	17.5%	8.7%	2.1%
		Euro 2	1.4%	1.3%	2.7%	0.6%
		Euro 3	43.0%	57.9%	65.3%	74.0%
		Euro 4	19.0%	19.0%	19.0%	19.0%
		Euro 6	4.3%	4.3%	4.3%	4.3%
2030	Taxi	Pre Euro	39.1%	5.0%	18.0%	13.2%
		Euro 2	1.3%	7.6%	9.0%	8.4%
		Euro 3	12.3%	40.0%	25.7%	31.1%
		Euro 4	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%
		Euro 6	34.3%	34.3%	34.3%	34.3%
	Transporte de carga	Pre Euro	9.0%	4.7%	6.1%	1.6%
		Euro 2	2.9%	0.4%	0.6%	1.6%
		Euro 3	40.8%	47.6%	46.1%	49.5%
		Euro 4	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%
		Euro 6	34.3%	34.3%	34.3%	34.3%
Transporte de pasajeros	Pre Euro	22.2%	12.0%	6.0%	1.5%	
	Euro 2	1.0%	0.9%	1.8%	0.4%	
	Euro 3	29.5%	39.8%	44.9%	50.8%	
	Euro 4	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%	
	Euro 6	34.3%	34.3%	34.3%	34.3%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22.*Distribución de categorías vehiculares para Lima Metropolitana y Callao (2016)*

Categoría Vehicular	Auto	Station Wagon	Pick Up	Combi	Camioneta Panel	Ómnibus	Camión	Remolcador	Motos*	Total
N° de vehículos	807529	284251	163793	236502	31006	50441	116601	62796	528867	2281786
Porcentaje	35.39%	12.46%	7.18%	10.36%	1.36%	2.21%	5.11%	2.75%	23.18%	100%

Fuente: Compendio estadístico del INEI 2017

*INEI sumatoria del registro del 2011 al 2016.

Tabla 23.*Participación porcentual en Vehículos por tipo de combustible -2016*

Tipo de combustible	Automóvil	Station wagon	Camionetas			Ómnibus	Camión	Remolcador	Motos*
			Pick up	Rural	Panel				
Diésel	0.06	0.39	90.18	25.63	36.85	89.9	99.4	100	0
GLP	2.49	4.07	0.47	0.83	2.88	0.11	0	0	0
GNV	5.93	14.72	0.05	0.19	1.42	9.74	0.14	0	0
Gasolina	91.52	80.82	9.3	73.35	58.85	0.25	0.46	0	100
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente: MINAM, Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero con año base 2012 (INGEI 2012).

*Para efectos prácticos se ha asumido el % de las motos a gasolina como el 100% de las motos.

Tabla 24.*Cantidad de Vehículos por tipo de combustible-2016*

Tipo de combustible	Automóvil	Station wagon	Camionetas			Ómnibus	Camión	Remolcador	Motos
			Pick up	Rural	Panel				
Diésel	484	1109	147708	60616	11426	45347	115902	62796	0
GLP	20107	11569	770	1963	892	56	0	0	0
GNV	47887	41841	82	450	441	4913	163	0	0
Gasolina	739051	229731	15233	173475	18247	126	537	0	528867
Total	807529	284250	163793	236504	31006	50442	116602	62796	528867

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25.*Recorridos promedios por vehículo (km/año)-2016*

Tipo de combustible	Automóvil*	Station wagon	Camionetas			Ómnibus**	Camión***	Remolcador	Motos
			Pick up	Rural	Panel				
Diésel	15000	78000	35000	14000	25000	120000	50000	120000	0
GLP	78000	78000	35000	14000	25000	60000	0	0	0
GNV	78000	78000	35000	14000	25000	60000	50000	0	0
Gasolina	15000	14000	14000	14000	25000	60000	50000	0	14400

Fuente: Proyecto Planificación ante el Cambio Climático (PlanCC, 2014), Escenarios de Mitigación del Cambio Climático en el Perú al 2050:

Construyendo un Desarrollo Bajo en Emisiones. Anexo 4.3

*Para Diésel y Gasolina, en la categoría Automóvil, se ha utilizado la siguiente fuente: SWISSCONTACT, (Mayo 2014). Elaboración de propuesta para el uso de etiquetado energético en vehículos livianos en el Perú. Informe Final.

**Para GLP y Gasolina, en la categoría Ómnibus, se ha asumido el mismo recorrido promedio de GNV (chispa).

***Para GNV y Gasolina, en la categoría Camión, se ha asumido el mismo recorrido promedio de Diésel.