

ANÁLISIS DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LOS VEHÍCULOS
DE USO PÚBLICO EN FUNCIÓN DE SU ANTIGÜEDAD PARA EL MUNICIPIO DE
VILLAVICENCIO-META

IVÁN RENE DUARTE HERNÁNDEZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

ANÁLISIS DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LOS VEHÍCULOS
DE USO PÚBLICO EN FUNCIÓN DE SU ANTIGÜEDAD PARA EL MUNICIPIO DE
VILLAVICENCIO-META

IVÁN RENE DUARTE HERNÁNDEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero ambiental

Asesora:

YURY TATIANA CÁRDENAS HERNÁNDEZ

ING. Química, ESP. ingeniería ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

INGENIERÍA AMBIENTAL

VILLAVICENCIO

2018

AUTORIDADES ACADÉMICAS

P. JUAN OBALDO LOPEZ SALAMANCA O.P.

Rector General

P. MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEGO O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ARTURO RESTREPO RESTREPO O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. FERNANDO CAJICÁ GAMBOA O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRAN

Decano Facultad de ingeniería ambiental

NOTA DE ACEPTACIÓN

NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano de Facultad Ingeniería Ambiental

YURY TATIANA CÁRDENAS

Directora Trabajo de Grado

JOHAN ÁLVAREZ BERRIO

Jurado

NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Jurado

Villavicencio 26/Mayo/2018

Agradecimientos

A mi madre, Elizabeth Hernández; y mi padre, Edwin Duarte, gracias infinitas por el apoyo que siempre dieron a cada etapa de mi vida, por confiar siempre en mí, ya que gracias a ustedes he encontrado mi camino y mi razón de ser, me fortalecen día tras día y solo espero enorgullecerlos con cada uno de mis logros.

A mi familia: Ricardo Duarte y Fanny Carrillo, mis principales baluartes durante estos cinco años de aprendizaje; a mis amigos y amigas, de quienes he recibido siempre apoyo sincero; a mi hermana Alexandra Duarte, que es mi fortaleza, mi más grande inspiración y ejemplo.

A todas aquellas maravillosas personas que han compartido junto a mí sus enseñanzas y mis logros en estos años, compañeros de estudio y pares académicos, así como quienes han estado para darme una voz de aliento en los momentos difíciles.

A mi directora de trabajo de grado Yury Cárdenas, por sus enseñanzas, su acompañamiento y sobre todo su compromiso para con este trabajo; una profesional íntegra en todo sentido que no solamente aportó conocimiento al proyecto, sino que me incentivó a exceder mis expectativas y realizar presentaciones en eventos de talla internacional, infinitas gracias a mi maestra y amiga.

A los pares académicos externos tanto autores como revisores, ya que sin su colaboración el presente trabajo de grado no se habría podido llevar a cabo. Y evidentemente, a la vida por permitirme llegar a este punto, por permitirme finalizar una etapa más y asimismo comenzar otra nueva que espero vivir con mayor intensidad

Este logro ha sido posible gracias a la colaboración y el apoyo de muchas personas, cuya buena disposición aportó significativamente en la realización y culminación de mi carrera académica, la cual no habría sido la misma sin ellos, no habría gozado de tantos triunfos, alegrías y satisfacciones. Su presencia ha constituido el mayor aporte en esta etapa de mi vida, cuyos recuerdos perdurarán en mí memoria. Desde lo más profundo de mi corazón agradezco a todos aquellos que me acompañaron durante este proceso.

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen.....	1
Introducción	3
1. Planteamiento del problema	5
2. Objetivos.....	7
2.1. Objetivo general	7
2.2. Objetivos específicos.....	7
3. Justificación	8
4. Alcance	11
5. Antecedentes.....	14
6. Marco referencial.....	17
6.1. Marco Teórico	17
6.1.1. El proceso de combustión y sus diferencias según el combustible implementado.	17
6.1.2. Contaminantes atmosféricos producidos por los vehículos del servicio público ...	17
6.1.3. Estadística descriptiva.....	18
6.1.4. Cálculo de la muestra de estudio	20
6.1.5. Desviación estándar	20
6.1.6. Software de procesamiento estadístico RStudio	21
6.2. Marco Conceptual	21
6.3. Marco Legal	23
7. Metodología.....	25
7.1. Fase I Compilación y filtro de información secundaria	25

7.1.1.	Recopilación de información secundaria	25
7.1.2.	Clasificación y selección de la información	26
7.1.3.	Estructura de las bases de datos definitivas	27
7.2.	Fase II aplicar las herramientas del software <i>RStudio</i>	28
7.2.1.	Procedimientos estadísticos	28
7.2.2.	Exportación de resultados.	29
7.3.	Fase III Analizar la variación de las emisiones con respecto al paso del tiempo.	30
7.3.1.	Análisis de la fluctuación de las emisiones atmosféricas en el tiempo.....	30
7.3.2.	Elaboración de iniciativas	30
8.	Resultados y análisis de resultados.....	32
8.1.	Fase I. Identificación de variables en estudio	32
8.1.1.	Validación de la información secundaria.....	32
8.1.2.	Filtro de variables	33
8.1.3.	Resultados de población muestral.....	37
8.1.3.1.	Relación de los datos del CDA y secretaria de movilidad.....	38
8.2.	Fase II. Implementación de las herramientas del Software <i>RStudio</i>	39
8.2.1.	Análisis estadístico para vehículos que funcionan a base de diésel.....	39
8.2.2.	Analisis estadistico para vehiculos que funcionan a base de gasolina.....	45
8.3.	Fase III. Elaboración de iniciativas	50
9.	discusión de resultados y recomendaciones	54
	Conclusiones	56
	Referencias bibliográficas.....	57

Lista de figuras

Pág.

Figura 1 Casco urbano y rutas de tránsito público de Villavicencio Meta	11
Figura 2 Planteamiento metodológico	31
Figura 3 Caracterización porcentual del parque automotor de Villavicencio Meta	34
Figura 4 Variables seleccionadas de la información suministrada por el CDA	36
Figura 5 Relación de información Sertravi y CDA	38
Figura 6 Relación modelo/ emisión contaminante para buses (año 2012)	40
Figura 7 Relación modelo/ emisión contaminantes para busetas (año 2014).....	41
Figura 8 Relación modelo/ emisión contaminantes para microbuses (año 2012 - 2016)	42
Figura 9 Desviación estándar de opacidad para microbuses en el año 2016	45
Figura 10 Relación de dióxido de carbono/modelo vehicular (año 2015).....	46
Figura 11 Relación de monóxido de carbono/ modelo vehicular (año 2014).....	47
Figura 12 Relación de HC/ modelo vehicular (año 2014)	48

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1 Procedimientos de estadística descriptiva.....	19
Tabla 2 Normatividad colombiana pertinente para el proyecto.....	23
Tabla 3 Bases de datos.....	27
Tabla 4 Validación de datos por sistema de alertas.....	32
Tabla 5 Matriz de Variables suministradas por la secretaria de movilidad.....	33
Tabla 6 Matriz de Variables suministradas por el CDA.....	35
Tabla 7 matriz de selección de escenarios.....	39
Tabla 8 Análisis estadístico para microbuses (año 2016).....	43
Tabla 9 Análisis estadístico para microbuses (año 2012).....	43
Tabla 10 Umbrales límite de la desviación estándar.....	44
Tabla 11 Análisis estadístico para vehículos a base de gasolina.....	49

Lista de ecuaciones

Pág.

Ecuación 1 Cálculo de la muestra.....	37
Ecuación 2 Calculo de la muestra ajustado a la población	37

Resumen

El presente proyecto tuvo como objeto analizar las emisiones atmosféricas generadas por los vehículos de uso público (buses, busetas y microbuses) que forman parte del parque automotor del municipio Villavicencio-Meta, con el fin de investigar la relación entre las emisiones atmosféricas y la antigüedad de los vehículos que las producen; en función de este objetivo se relacionaron dos fuentes de información secundaria: la antigüedad de los vehículos representada por su modelo de fabricación y la medición de los gases contaminantes registrados en su revisión técnico mecánica; el desarrollo del proyecto precisó la recopilación de información de la secretaria de movilidad, con la cual fue posible verificar la cantidad total del parque automotor de la ciudad y específicamente los buses, microbuses y busetas registrados en Villavicencio, además, fue fundamental la contribución del Centro de Diagnóstico Automotor (CDA) el cual aportó al proyecto las mediciones de emisión de gases realizadas en la revisión técnico mecánica a los vehículos de estudio para este proyecto durante un periodo de cinco años (2012-2016); una vez adquirida la información, fue filtrada y organizada en bases de datos de manera que fuera posible identificar las variables en estudio y dar inicio al análisis estadístico implementando el software *RStudio Desktop versión 1.0.153*, luego del procesamiento de datos los resultados transcurridos cinco años de uso marcaron un aumento progresivo de las emisiones atmosféricas, alcanzando un crecimiento de hasta el 10% de opacidad en los vehículos de uso público; razón por la cual se dio inicio a la gestión de trascendencia para este estudio, presentando a la secretaria de movilidad municipal el plan de valoración, análisis e implementación de sistemas de control de emisiones contaminantes para vehículos anticuados.

Palabras claves: fuentes móviles, emisiones atmosféricas, obsolescencia vehicular, contaminación atmosférica.

Abstract

The purpose of this project was to analyze the atmospheric emissions generated by vehicles for public use (buses, minibuses and buses) that are part of the vehicle fleet of the Villavicencio-Meta municipality, with the aim of investigating the relationship between atmospheric emissions and antiquity. of the vehicles that produce them; according to this objective, two sources of secondary information were related: the age of the vehicles represented by their manufacturing model and the measurement of the polluting gases recorded in their mechanical engineering review; the development of the project required the collection of information from the mobility secretary, with which it was possible to verify the total amount of the city's automotive fleet and specifically the buses, minibuses and buses registered in Villavicencio, in addition, the Center's contribution was fundamental of Automotive Diagnostic (CDA) which contributed to the project the emission measurements of gases made in the mechanical technical review to the study vehicles for this project during a period of five years (2012-2016); Once the information was acquired, it was filtered and organized in databases in a way that it was possible to identify the variables under study and start the statistical analysis by implementing the RStudio Desktop software version 1.0.153, after the data processing the results after five years of use marked a progressive increase in atmospheric emissions, reaching a growth of up to 10% opacity in vehicles for public use; This is why the management of importance for this study began, presenting to the municipal mobility secretary the plan for the valuation, analysis and implementation of control systems for polluting emissions for outdated vehicles

Keywords: mobile sources, atmospheric emissions, vehicular obsolescence, air pollution.

Introducción

El conveniente posicionamiento geográfico de los llanos orientales, pese a ser una ventaja natural para la dispersión de contaminantes atmosféricos, resulta ser la principal causa del descuido municipal por la calidad del aire que respira la ciudadanía (Toro & Gonzales, 2016); es preocupante la falta de estudios técnicos referentes a la calidad del aire en Villavicencio y aún más la ausencia de una red de monitoreo de calidad de aire eficiente, que reporte información en tiempo real sobre la calidad del aire del municipio.

Como aporte a esta problemática, el presente proyecto se enfocó en analizar las emisiones generadas por un tipo concreto de fuente móvil (servicio público), argumentando estadísticamente la hipótesis inicial, basada en el paso del tiempo y como el mismo deteriora la materia, en este caso específico los vehículos de uso público, comprometiendo tanto su estructura como su funcionamiento y motivo por el cual las emisiones atmosféricas crecen proporcionalmente aumenta la antigüedad de los vehículos.

El enfoque específico en este tipo de vehículos permite identificar el grupo de vehículos anticuados u obsoletos pertenecientes al parque automotor que presta el servicio público en el municipio (SERTRAVI, 2017); este proyecto también contribuye al desarrollo del municipio teniendo en cuenta que la falta de estudios técnicos es el principal motivo por el cual el boletín de estado de la calidad del aire en Colombia publicado por el IDEAM en el espacio de 2011 a 2015 no contempla la Corporación Autónoma Regional de Villavicencio (Cormacarena) (Pineda & Hernandez, 2016)

El proceso de análisis de las emisiones atmosféricas generadas por los vehículos de uso público en función de su antigüedad se realiza con base en información secundaria, recolectada de un Centro de Diagnóstico Automotor, la secretaria de movilidad de la ciudad y los planes de desarrollo territorial: “Unidos Podemos Gestionar un Ambiente Sostenible” y “Unidos Podemos Tener una Mejor Movilidad” (Mateus, 2016), estos dos programas gubernamentales contienen lineamientos tanto ambientales como sociales que justifican y apoyan el desarrollo del proyecto, y con los cuales se facilitó la gestión de obtención de información en las entidades privadas.

Como ítem de trascendencia, este proyecto, con base en sus resultados, trata de evidenciar la problemática real a la que se enfrenta el municipio y proponer iniciativas de solución a mediano y largo plazo, iniciativas de gestión del servicio de transporte público entre las que se encuentra la categorización de los vehículos de uso público obsoletos de la ciudad, que siendo identificados y expuestos como problemática ambiental, se pretende sean actualizados y de esa manera se mejoren las condiciones de la flota vehicular pública de Villavicencio, con el objetivo principal de beneficiar principalmente a la ciudadanía.

las iniciativas planteadas apuntan indirectamente a la disminución de las emisiones atmosféricas, bajo la premisa que sitúa al recurso aire como un recurso comunitario e indispensable para la vida, que debe ser protegido con rigor por la jurisdicción local, estipulado de esta manera en el acuerdo de París y el protocolo de Kioto, donde además se incentiva a la comunidad científica en el desarrollo de estudios que permitan identificar el impacto de las fuentes de emisión sobre la calidad del aire en aras de su regulación y control.

Como ítem social, el desarrollo de iniciativas de control de emisiones atmosféricas del servicio de transporte público apunta a reducir la inmisión de contaminantes, teniendo en cuenta que la emisión de contaminantes atmosféricos de los vehículos del servicio público sumado a las demás fuentes trópicas y antrópicas, producen Infecciones Respiratorias Agudas (IRA) o Enfermedades Pulmonares Obstructivas Crónicas (EPOC) a los seres vivos, para el caso concreto de la ciudad de Villavicencio la exposición a las diferentes fuentes de emisión de contaminantes tanto trópicas como antrópicas generó 23.000 casos de Enfermedades Respiratorias Agudas registrados por la secretaria de salud de Villavicencio en el año 2016 (Torres C, 2016) por lo que es necesario responder a esta problemática ambiental con proyectos puntuales que reduzcan la dificultad general.

1. Planteamiento del problema

Limitar la catástrofe de la variación térmica es un desafío que debe enfrentar el mundo entero, puesto que el panorama de generación de contaminación atmosférica se torna cada vez más global; son muchos los factores que contribuyen a las emisiones totales de un país, sin embargo entre los más destacados se encuentran: su población y los vectores socioeconómicos (Max Frankel, 2015) donde el punto de convergencia entre los factores mencionados anteriormente serían las fuentes móviles, situadas así como una de las principales fuentes de emisión contaminante a nivel mundial.

Entre los países de América Latina: Brasil, Argentina, Venezuela y Colombia se ubican como los países más contaminantes; en el caso particular de Colombia el total de las emisiones anuales es de 177.59 Ton/m³ atribuidas en su mayoría al sector energético articulado por las fuentes móviles y los sectores industriales (Fearnside, 2015)

En un país como Colombia se torna rutinario observar buses del servicio público que dejan a su paso densas cortinas de humo negro acompañado de nauseabundos olores característicos de los contaminantes tóxicos que emiten en su proceso de combustión, proceso que según la normatividad nacional los vehículos del servicio público deben mantener bajo control, para que el vehículo tenga la posibilidad de aprobar la revisión técnico mecánica y de gases por lo menos cada tres meses, sin embargo esto se cumple únicamente en un 40% de los casos, la mayoría de los vehículos incumple la norma, lo que genera un aumento en los comparendos por falta de este requisito de tránsito, como en el año 2017 donde se impusieron cerca de 40.000 comparendos a vehículos del servicio público, lo cual es evidencia incontrovertible de esta problemática (Ardila, 2017); “al transitar vehículos obsoletos los conductores ponen en riesgo su vida y la de toda la ciudadanía” General Ramiro Castrillón, director de la policía de tránsito.

Una de las insuficiencias de gestión ambiental de la ciudad de Villavicencio, es la constante emisión de gases contaminantes a la atmósfera generada por el grupo de vehículos anticuados que pertenecen al parque automotor público de la ciudad (SERTRAVI, 2017), en esta ciudad es común que la vida útil de los vehículos automotores se prolonge por más tiempo del adecuado y

a esta situación no se le proporciona el debido proceso de análisis; la problemática radica en que las tecnologías de combustión obsoletas que se mantienen en circulación, con el paso del tiempo deterioran la calidad del aire del municipio, problemática que debería ser tratada por la Corporación Autónoma Regional de Villavicencio CORMACARENA que como autoridad ambiental está comprometida con la administración y protección del medio ambiente y sus recursos naturales (Cormacarena, 2017), por medio de la planeación y ejecución de proyectos donde se enfatizan los esfuerzos para solucionar este tipo de problemáticas, pero al no contar con los debidos estudios de investigación y análisis para este tipo de problemáticas, su rango de acción se limita y los vehículos contaminantes logran seguir transitando sin restricción alguna.

¿Cuál es la variación de las emisiones de gases atmosféricos generados por los vehículos del servicio público en el transcurso de cinco años de uso?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Analizar la variación de las emisiones atmosféricas generadas por los vehículos de uso público en Villavicencio-Meta en función de su antigüedad para presentar iniciativas relacionadas a la gestión de la problemática ambiental analizada.

2.2. Objetivos específicos

- Definir las variables en estudio de acuerdo a la información recolectada en los centros de diagnóstico automotriz y secretaría de movilidad.
- Analizar el comportamiento de las emisiones de gases atmosféricos provenientes de los vehículos de uso público con respecto al paso del tiempo.
- Proponer iniciativas relacionadas a la gestión de la problemática ambiental analizada y remitirlas a las autoridades competentes.

3. Justificación

Este tipo de proyectos adquieren su viabilidad internacionalmente en la edición número 21 de la Conferencia De las Partes (COP-21), donde se acuerda conjuntamente que cualquier partícula de materia sólida o gaseosa que se acumule en la atmósfera y llegue a producir efectos negativos para la vida o el medio ambiente, debe ser considerada un contaminante atmosférico, por ende debe estudiarse: primero su fuente de emisión, segundo su sumidero y por último, la gestión de políticas de restricción pertinentes en cuanto a la emisión (Arbeláez, 2016) por lo que, la República de Colombia se compromete ante la comunidad internacional, en el adelanto de estudios referentes a la definición de las pautas de manejo y gestión del recurso aire a nivel nacional (Arbeláez, 2016).

Según la proyección estimada de la emisión de gases atmosféricos mundiales presentada en la edición número 21 de la Conferencia de las Partes (COP-21), es imperativo que se de tratamiento a las emisiones atmosféricas desde los ámbitos regionales; por lo tanto, como resultado del acuerdo global, los países adquieren compromisos de acción climática, llamados Contribuciones Nacionalmente Determinadas (Max Frankel, 2015), donde se tratan las fuentes de emisión a nivel local como, la producción de energía, la agricultura, la industria, los cambios en el uso de suelo y el transporte; fuentes a las que se les adjudica el mayor porcentaje de las emisiones en el mundo, fuentes precisamente tratadas en el presente estudio.

El uso prolongado de las unidades vehiculares del sector público del municipio de Villavicencio-Meta, requiere de un análisis técnico donde se estudie cuantitativa y cualitativamente la variación de sus emisiones atmosféricas con respecto al paso del tiempo, para ello lo más conveniente es aplicar metodologías estadísticas confiables, que permiten estimar un rango de vida útil razonable de las unidades vehiculares, evitando exponer a la población local a “chimeneas deambulantes” que afectan nocivamente la salud humana, además de contribuir en el compromiso del municipio con la respuesta a problemáticas ambientales a nivel global.

Estudiar la variación de las emisiones atmosféricas en función de la antigüedad de los vehículos del servicio público a partir de las mediciones históricas provenientes de entidades privadas

certificadas, como los centros de diagnóstico automotriz (CDA), es fundamental en la gestión oportuna de la calidad del aire, ya que análisis de este tipo posibilitan que las políticas ambientales amplíen su rango de acción, y facilitan el trabajo de las entidades correspondientes para restringir de manera generalizada la actual diversificación de las fuentes de emisión de gases atmosféricos, y específicamente, las deficiencias socio-ambientales del servicio de transporte público (Rojas & Rojas, 2015)

Esta iniciativa se encuentra avalada municipalmente por dos propuestas de gobierno de la actual administración “unidos podemos”, la primera referente a un nuevo eje ambiental “unidos podemos gestionar un ambiente sostenible” en la que se integran la gestión del riesgo ambiental nacional con el acuerdo de París y el protocolo de Kioto, en el que se apoyan los estudios que identifiquen el impacto de las emisiones sobre la calidad del aire, argumentando que el aire es un recurso común indispensable para la vida, y que debe ser protegido por la jurisdicción local (Mateus, 2016) y la segunda iniciativa abarca el componente social “unidos podemos tener una mejor movilidad”, donde la idea de ofrecer un servicio público de calidad, apoya estudios que pretendan identificar y catalogar los vehículos de uso público obsoletos, en búsqueda de nuevas alternativas de gestión para la mejora del servicio público de la ciudad, donde los usuarios sean los primeros beneficiarios al contar con unidades vehiculares a la vanguardia de la tecnología (Mateus, 2016)

El desconocimiento del comportamiento de las emisiones contaminantes del servicio público en el paso del tiempo y la escasa información sobre emisiones atmosféricas producidas por fuentes móviles en el municipio, puede repercutir a mediano o largo plazo sobre la salud, teniendo en cuenta la información publicada en el boletín de calidad de aire IDEAM-2016, en la que se concluye que en las capitales colombianas las emisiones de gases atmosféricos generados por fuentes móviles afectan la salud de aproximadamente 20.000 personas por km² (Pineda & Hernandez, 2016) por tanto es fundamental desarrollar estudios sobre la calidad del aire de Villavicencio.

Entre las motivaciones fundamentales por las cuales es absolutamente necesario desarrollar proyectos referentes al análisis de las fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos no solo en el municipio sino, también en el departamento, es que la falta de estudios técnicos es el motivo principal por el cual el boletín de estado de la calidad del aire en Colombia, para el espacio de tiempo entre 2011 y 2015 publicado por el IDEAM no contempla la Corporación Autónoma Regional Cormacarena (Pineda & Hernandez, 2016); no es posible adquirir un espacio en el boletín nacional si la Corporación Autónoma Regional de Villavicencio únicamente tiene a disposición el monitoreo indicativo de la calidad del aire para los años 2013 y 2014, estudios que no analizan a fondo las fuentes de contaminación municipal y en particular la influencia de diferentes factores de contaminación de la región; para este caso en específico se intentará enriquecer la información técnica sobre la variación en el tiempo de las emisiones atmosféricas generadas por los vehículos de uso público.

Además en la ciudad de Villavicencio es preciso incentivar el desarrollo de este tipo de estudios, puesto que registros como el de la secretaría de salud municipal donde se señaló que en el 2016 se registraron 23.000 casos de enfermedades respiratorias agudas en la capital del Meta (Torres C, 2016) ocasionan que la administración local sugiere restringir preventivamente los eventos culturales en espacios abiertos a raíz de la falta de estudios técnicos, evitando que la comunidad goce libremente de los espacios público por causa de la calidad del aire que se respira en dichos eventos.

4. Alcance

El proyecto se llevó a cabo en el municipio Villavicencio-Meta, ubicado en el pie de monte de la Cordillera Oriental de Colombia, con un área aproximada de 130.085 hectáreas, de las cuales 5,427 (4%) corresponden a la zona urbana y 124,658 (96%) al sector rural (Mateus, 2016). El análisis de las emisiones contaminantes generadas por los vehículos de uso público se realizó específicamente a los: buses, microbuses y busetas del sector público, que transitan en las 65 rutas urbanas trazadas en la Figura 1, y que ofrecen el servicio de transporte en el casco urbano de la ciudad.

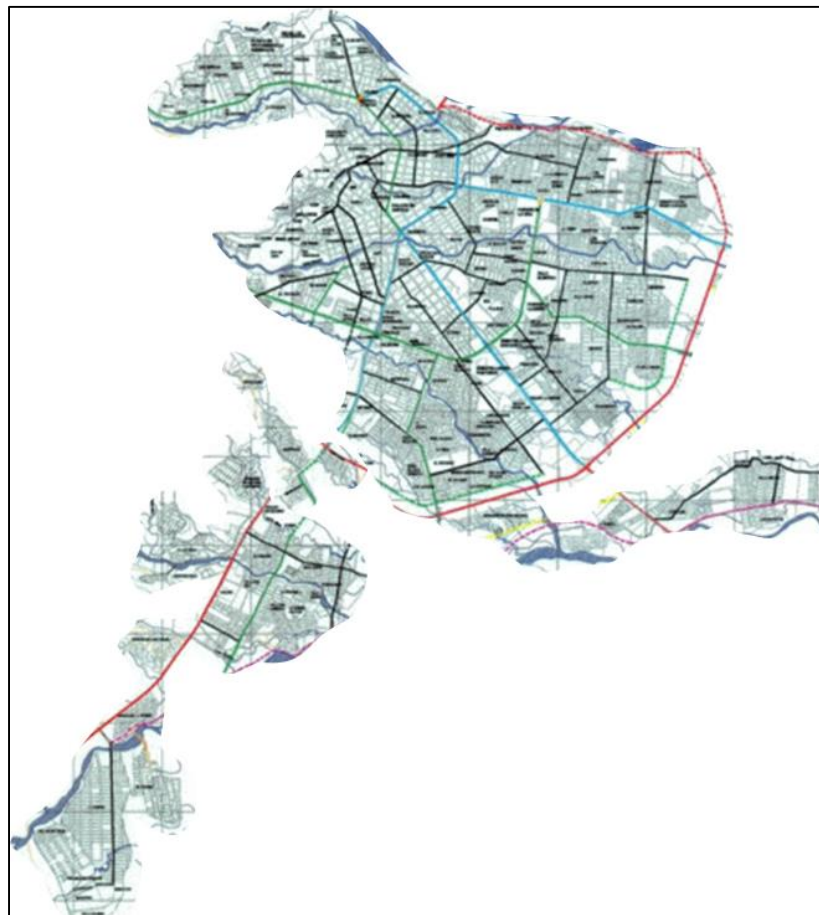


Figura 1 Casco urbano y rutas de tránsito público de Villavicencio Meta, Adaptado (CASTRO, 2016).

El objetivo del estudio fue trabajar con las unidades de servicio público, teniendo en cuenta su emisión continua de gases contaminantes en un día matutino, se eligió trabajar únicamente con este tipo de vehículos y más específicamente con los buses, los microbuses y las busetas puesto que el 100% de vehículos del servicio público de la ciudad de Villavicencio equivalen a 2311 unidades vehiculares divididas en 1268 microbuses, 837 busetas y 206 buses, este total de vehículos representa el 8% del parque automotor total de la ciudad que cuenta con 31637 unidades vehiculares (excluyendo las motocicletas) (SERTRAVI, 2017) una cantidad porcentual pertinente para el trabajo de un solo investigador.

Los vehículos que conformaron la muestra estuvieron sujetos a la información que suministró el Centro de Diagnóstico Automotriz (CDA), entidad privada y certificada de la que se obtuvo los registros de emisiones atmosféricas generadas por las unidades vehiculares del sector público (buses, microbuses y busetas) que funcionan a base de gasolina y diésel, la decisión de trabajar con el CDA mas popular de la ciudad influyo sustancialmente en la muestra ya que resulto ser el 49% del total de los vehiculos de servicio publico de la ciudad, por los que se afirma que el estudio es posible aplicarlo sobre el servicio publico del municipio de Villavicencio.

Para el desarrollo de este análisis estadístico se contó con el apoyo únicamente del Centro de Diagnóstico Automotriz (CDA), entidad con la que se acordó conjuntamente trabajar con un periodo de estudio total de cinco años de 2012 a 2016, de los que se dispuso de diez registros de las mediciones de gases contaminantes, divididos en cinco registros para vehículos que funcionan a base de combustible diesel (6943 Datos) y cinco para aquellos que trabajan a base de gasolina regular (223 Datos), la sumatoria total de datos procesados en el software *RStudio* fue de 7166 datos, los cuales fueron la base para el desarrollo del proyecto.

Los gases a los cuales se analizó la variación de su emisión durante los cinco años de período de estudio fueron: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y dióxido de carbono (CO₂) para vehículos que funcionan a base de gasolina, y, porcentaje de opacidad para vehículos que funcionan a base de combustible diésel; se seleccionaron estos gases porque son especialmente nocivos para la salud ademas de influir en fenómenos tales como el cambio climático (Ballesteros & Aristizabal, 2012)

Este proyecto contó con dos fuentes de información secundaria: primero la cantidad de vehículos entre los modelos 1990 y 2016 registrados oficialmente en la secretaría de movilidad de Villavicencio y, segundo las mediciones registradas por el CDA de emisión de gases contaminantes (concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Dicha información secundaria fue procesada utilizando exclusivamente el software estadístico *RStudio Desktop versión 1.0.153*, el cual es de uso libre; para llevar acabo el flujo de trabajo correcto se requirieron cuatro meses organizados cronológicamente de agosto a noviembre del 2017.

Dado que la población del municipio es afectada por la problemática a trabajar, relacionar las emisiones de los vehículos del sector público con su modelo de fabricación y que con base en esta investigación se tomen medidas para solucionar esta problemática ambiental beneficia a tanto a los usuarios del servicio de transporte público, como al ciudadano común, teniendo en cuenta que el análisis de los datos colectados y procesados posibilita reconocer situaciones de alarma y promover políticas de prevención de contaminación atmosférica por fuentes móviles del servicio público.

5. Antecedentes

El más reciente llamado a la disminución de la emisión de gases efecto invernadero, fue la Conferencia de las Partes (COP-21) llevada a cabo del treinta de noviembre al 11 de Diciembre (2015) en la ciudad de París Francia, donde países como Francia, Alemania, Inglaterra y Noruega donaron más de 500.000.000 de dólares, destinados para proyectos ambientales; en la COP 21, 195 países se comprometieron a reducir radicalmente la emisión de gases efecto invernadero; con el objetivo de mitigar el calentamiento global y marcar el final definitivo a la era de los combustibles fósiles (Arbeláez, 2016); planteado el objetivo general y con la disposición de los recursos recaudados, la organización mundial de la salud (World Health Organizatio – WHO) reclutó investigadores como: Dr. Carlos Dora, Dr. Jaime Hosking, Dr. Pierpaolo Mudu y Dra. Eleaine-Ruth Fletcher especialistas en el área de la calidad del aire y su interacción con la salud pública, que entre diversas investigaciones, publicaron el texto de referencia transporte urbano sostenible (Dora & Mudu, 2016)

Básicamente el texto de referencia Transporte Urbano Sostenible (TUS) trata las áreas clave de un marco de referencia político enfocado en la restricción de emisión de contaminantes atmosféricos, como guía para ciudades en vía de desarrollo que pretendan disponer de un servicio de transporte urbano sostenible en su ciudad (Dora & Mudu, 2016); aunque para el presente proyecto se torna complejo reproducir las metodologías implementadas en el estudio Transporte Urbano Sostenible, se toma como referencia teniendo en cuenta que argumenta científicamente la estrecha relación entre la emisión de gases del servicio de transporte público, con impactos: a la salud pública, al ambiente circundante, a la sociedad y al sistema económico (Dora & Mudu, 2016); por tal razón y tomando como referencia este antecedente internacional, son elegidos los gases contaminantes provenientes del servicio de transporte público para ser analizados en el presente proyecto.

R, es un lenguaje de programación con enfoque al análisis estadístico, que destaca por el preciso procesamiento a densos conjuntos de datos, consigna por la que los investigadores David Kent y Andrew Carslaw deciden incorporar en su estudio “*identificación de fuentes contaminantes en el complejo industrial de la región North Lincolnshire*”, el lenguaje de programación R para su análisis estadístico, logrando: describir estadísticamente las características de las fuentes contaminantes registradas por las 16 estaciones de la red de monitoreo de Inglaterra, evaluar la procedencia de la contaminación registrada para determinar la incidencia que tienen las fuentes locales y por ultimo analizar el comportamiento en el tiempo de los contaminantes y sus tendencias (Kent & Carslaw, 2009) esta referencia proporcionó al presente proyecto los primeros ejemplos para la ejecución correcta de los scripts de las herramientas: gráfico polar, variación en el tiempo y función de datos condensados.

La manera de complementar y perfeccionar el código de programación implementado en este proyecto de análisis, fue tomando como segunda referencia de programación el estudio “*análisis de PM 2.5 en el reino unido*” publicado por el investigador Kiley Sniffer en el año 2011, donde fue implementado el lenguaje de programación R para estudiar los valores de concentración de PM 2.5; Sniffer luego de graficar el aumento prolongado en el tiempo de las emisiones atmosféricas en su región, incluyo variables climatológicas como velocidad y dirección del viento, buscando conocer la procedencia de dichas emisiones; una vez empleo la función grafico polar logro identificar el arrastre de PM 2.5 por vientos de hasta 35 m/s provenientes del este del país (Londres) (Sniffer, 2011) la experiencia exitosa de este investigador permitió perfeccionar el código de programación para este proyecto y también elegir la versión indicada del software R para trabajar el cual fue United Kindom RStudio Desktop software version 1.0.153.

Entre los estudios de calidad del aire más exitosos de los últimos años en Colombia se encuentra, el análisis de la base de datos de la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá, elaborado por Pedro García y dirigido por el Dr. Néstor Rojas, en síntesis, los investigadores implementaron el software RStudio para analizar la localización de las fuentes de mayor impacto, sobre los valores de las concentraciones de contaminantes del aire en Bogotá (Gracia, 2013)

el trabajo ejecutado en la ciudad de Bogotá D.C. se toma como referencia para el presente proyecto, teniendo en cuenta que la información secundaria procesada en el análisis estadístico para los dos casos fue suministrada por fuentes públicas, la secretaria de movilidad de Bogotá y la de Villavicencio, donde la información en los dos casos no se encontró completa o contenía

fracciones de información poco relevante para el desarrollo del proyecto, por lo que del análisis realizado en la ciudad de Bogotá se tomó como ejemplo para el desarrollo del presente proyecto, la técnica de depuración y selección de datos afines al desarrollo del objetivo general propuesto inicialmente.

En los municipios de menor área en Colombia también realizan análisis a los contaminantes atmosféricos, como el elaborado por el investigador James Londoño “*estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles en el área urbana de Envigado Colombia*” este trabajo estima la emisión de contaminantes atmosféricos generados por las fuentes móviles en el casco urbano de Envigado, utilizando como fuente de información bases de datos suministradas por la secretaría de movilidad de la ciudad e implementando el modelo *International Vehicle Emissiones (IVE)*, con el cual estimaron las emisiones generadas por vehículos del municipio (Londoño, 2012); para el presente análisis fue fundamental tomar como modelo el análisis de Londoño, ya que la interpretación de los resultados varía según el combustible del vehículo (funcionamiento a base de gasolina regular o combustible diésel) (Londoño, 2012)

Uno de los proyectos recientemente ejecutados en el municipio Villavicencio Meta es el diseño del sistema de vigilancia de la calidad del aire elaborado por el consultor ambiental K2 en el año 2015 (K2, 2015), en el cual se analizan las diferentes emisiones al ambiente por medio de un inventario de emisiones, con el que se proyecta a futuro implementar un sistema de vigilancia de calidad del aire regional; entre el inventario de emisiones el ítem correspondiente a las fuentes móviles es analizado implementado el software para estimar emisiones contaminantes vehiculares (*IVE*) y el software de análisis de dispersión de contaminantes *Aermod*, donde se identifican a los hidrocarburos, dióxido y monóxido de carbono como los gases de mayor carga contaminante a nivel local, por tanto también fue necesario que fueran tratados en el presente proyecto (K2, 2015).

6. Marco referencial

6.1. Marco Teórico

6.1.1. El proceso de combustión y sus diferencias según el combustible implementado

La emisión de gases generadas por fuentes móviles parte del proceso físico-químico térmico, denominado combustión, en el que ocurre una reacción química que se produce entre un material oxidable que en este caso es el combustible utilizado por los vehículos y el oxígeno (Forum, 2001); la pureza de la mezcla entre estos dos componentes varía según el proceso de combustión utilizado por cada máquina, cada variación significa mayor o menor emisión de gases contaminantes, también es conocido como proceso de combustión interna del motor.

Existen diferencias muy marcadas entre la combustión interna de los motores a base de gasolina convencional y combustible diésel; los motores que funcionan a base de diésel limitan la carga de oxígeno que llega al reactor para ocasionar el proceso de combustión, por otra parte los motores a base de gasolina no limitan dicha carga, por tal motivo la composición de la mezcla se satura de oxígeno, permitiendo la formación de contaminantes químicos compuestos como el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y dióxido de carbono (CO₂) en su mezcla heterogénea (Forum, 2001); el motor a base diésel regulando la cantidad de oxígeno en la mezcla logra un producto final homogéneo del cual solo es posible analizar la opacidad (Cooper & Arioly, 2016).

6.1.2. Contaminantes atmosféricos producidos por los vehículos del servicio público

Los gases analizados en el presente proyecto destacan por su composición altamente venenosa, , los hidrocarburos (HC) son combustibles en estado puro que no completan el proceso de combustión, tomando forma de partículas suspendidas en el aire de diferentes micras, el monóxido de carbono (CO) además de ser venenoso es una molécula de combustible generada a partir de combustión incompleta dañino, a diferencia del dióxido de carbono (CO₂) que es un resultante inofensivo de la combustión completa (Nylund & Erkkilä, 2005).

6.1.3. Estadística descriptiva

Según la problemática establecida, las conclusiones más acertadas se obtienen aplicando funciones y terminología de estadísticas descriptiva, ya que las mismas ejercen influencia analítica sobre los campos de la actividad humana, especialmente sobre investigaciones referentes a la salud pública (Orellana, 2001), con el interés de aumentar la credibilidad y la confiabilidad del presente análisis, se aplicaran: procesos estadísticos de asociación de variables y estadística descriptiva para el análisis de datos de única variable.

Las variables en un proyecto pueden hacer parte de dos conjuntos, las cualitativas o categóricas y las cuantitativas, en el caso de las variables cuantitativas es posible subdividir las entre variables discretas o continuas, el factor diferencial de esta división es que una variable continua, a diferencia de una variable discreta, nunca puede ser medida con exactitud. (Gracia, 2013)

El análisis estadístico para la asociación entre variables, responde la supuesta existencia de algún tipo de relación entre dos o más variables y representa la presencia de algún tipo de tendencia o patrón de emparejamiento entre los distintos valores de esas variables (Molina, 2010) existen tres casos de asociación de variables:

- El caso de dos variables categóricas.
- El caso de una variable categórica y una cuantitativa.
- El caso de dos variables cuantitativas.

La finalidad de los tres casos es procesar el mejor escenario posible, la asociación entre variables no debe entenderse como una cuestión de todo o nada, sino como un continuo que iría desde la ausencia de relación (independencia) al nivel máximo de relación entre las variables, de tal manera que la representación gráfica muestre resultados contundentes entre la independencia o el grado máximo de dependencia. (Molina, 2010)

Por otra parte el análisis de datos con estadística descriptiva es la técnica matemática que obtiene, organiza, presenta y describe un conjunto de datos con el propósito de facilitar su uso con el apoyo de gráficas, tablas o medidas numéricas. (Orellana, 2001)

Tabla 1 Procedimientos de estadística descriptiva

Medida de tendencia central	Media aritmética, es la relación entre la sumatoria de los valores y el número de datos	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
	Moda, es el dato repetido con mayor frecuencia	$M = L_i + \left(\frac{D_1}{D_1 + D_2} \right) A_i$
Medidas de dispersión	Rango, es el intervalo entre el máximo y mínimo	$R = x_{(k)} - x_{(1)}$
	Desviación típica, es la raíz cuadrada de la varianza	$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\int (x - \mu)^2 f(x) dx}$
Medidas de posición	Mediana, es el valor que ocupa la posición central en el conjunto de datos	$M_e = x_{(n+1)/2}$

Nota: Cita teórica para, procedimientos de medida de tendencia, medidas de dispersión y medidas de posición a implementar en el proyecto, Adaptado: Iván Duarte, 2018.

Con la implementación de estas medidas de tendencia central se pretende resumir en un solo valor a un conjunto de valores suministrados en la información secundaria; las medidas de dispersión en cambio miden el grado de dispersión de los valores de la variable, pretenden evaluar en qué medida los datos difieren entre sí; implementar ambos tipos de medidas en conjunto permiten describir un conjunto de datos entregando información acerca de su posición y su dispersión (Molina, 2010).

De acuerdo con el procesamiento estadístico las variables pueden comportarse, simétrica o asimétricamente, las medidas de asimetría como lo son el coeficiente de Fisher o las medidas de apuntamiento son utilizadas para constatar que una distribución estadística siga la distribución normal o no. (Orellana, 2001)

6.1.4. Cálculo de la muestra de estudio

La muestra necesaria para desarrollar el proyecto debe ser obtenida de tal manera que sea posible asegurar un mínimo de error posible con respecto de la población objetivo total, para que una muestra sea fiable, es necesario que su tamaño sea obtenido mediante procesos matemáticos que eliminen la incidencia del sesgo por error sobre el proyecto (Molina, 2010); para calcular el tamaño de la muestra suele utilizarse la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N \sigma^2 Z^2}{(N - 1)e^2 + \sigma^2 Z^2}$$

Dónde:

n = Tamaño de la muestra.

N = Tamaño de la población.

σ = Desviación estándar de la población que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0,5.

Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza. Es un valor constante que, si no se tiene su valor, se lo toma en relación al 95% de confianza equivale a 1,96 (como más usual) o en relación al 99% de confianza equivale 2,58, valor que queda a criterio del investigador.

e = Límite aceptable de error muestral que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09), valor que queda a criterio del encuestador

6.1.5. Desviación estándar

La desviación típica o desviación estándar (denotada con el símbolo σ) es una medida de dispersión, para variables de razón o también conocidas como cuantitativas, se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable y sirve para para conocer con detalle características de un conjunto de datos, ya que no solo basta con conocer las medidas de tendencia central, sino que es necesario conocer también la desviación que presentan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución, con objeto de tener una visión de los mismos más acorde con la realidad al momento de describirlos e interpretarlos para la toma de decisiones. (Molina, 2010)

6.1.6. Software de procesamiento estadístico RStudio

Para analizar la correlación entre dos variables es posible utilizar el software estadístico *RStudio*, ya que este paquete en específico contiene funciones estadísticas enfocadas al procesamiento de datos de emisiones atmosféricas, aproximadamente 23 funciones, entre las cuales se encuentra la gráfica de densidad de *Kernel* para las fluctuaciones de las medias, la función de densidad de *Kernel* sirve para elaborar gráficas que permiten caracterizar determinados momentos en los que se supera el valor límite de un contaminante, con lo cual es posible estudiar las condiciones que llevan a la superación de los valores límites de emisión. (Novoa & Solano, 2016)

6.2.Marco Conceptual

Emisiones atmosféricas: son todos los fluidos gaseosos, puros o con sustancias en suspensión, que se emanen como residuos o productos de la actividades tanto humana como naturales hacia la atmósfera (LAUREN, 2010), para este caso específico son los fluidos gaseosos emanados por las unidades vehiculares del sector público como ejemplo clave destaca el conglomerado de gases generados a partir del proceso de combustión interna del motor utilizado por los vehículos a base de combustible diésel denominando opacidad.

Opacidad: este concepto hace referencia al porcentaje de transparencia de las emisiones generadas por un vehículo que fusiona a base de combustible diésel, su composición está compuesta por material particulado de diferentes micras, además de nitratos, sulfatos y hidrocarburos en diferentes proporciones (Cooper & Arioly, 2016) la manera de regular la proporción de emisión de opacidad es la prueba de opacidad.

Prueba de opacidad: basándose en la Ley de Beer-Lambert, y replicando la esencia de la espectrofotometría, la prueba de opacidad es un método de medición que se efectúa para registrar cuanta luz absorbe un gas emitido, midiendo la intensidad de la luz cuando un haz luminoso pasa a través del gas que emerge del carburador de la máquina (Cooper & Arioly, 2016) con esta prueba se intenta comprobar que los humos que genera el vehículo con motor diésel se ajustan a los parámetros legalmente establecidos y no son obsoletos.

Obsolescencia vehicular: insuficiencia en el desempeño de las fusiones vehiculares fundamentales, en comparación con los nuevos modelos, tecnologías y equipos; surge a causa del aumento de la vida útil regular de un vehículo (Cooper & Arioly, 2016).

Inmisión de contaminantes atmosféricos: al proceso de transferencia de gases contaminantes del aire desde la atmosfera libre a un receptor, ser humano o planta, se le denomina inmisión de contaminantes atmosféricos (LAUREN, 2010); parte del proceso natural y necesario de la inhalación de oxígeno, ya que en el oxígeno habitan las partículas toxicas que ingresan al sistema metabólico, es nocivo hasta sobrepasar la dosis de inmisión.

Dosis de inmisión: es la suma de las inmisiones en un intervalo de tiempo, es decir la cantidad total de contaminantes del aire admitido, aspirado, absorbido o ingerido por parte del receptor. (Colvile, Hutchinson, & Mindell, 2001), sobrepasar la tasa de inmisión de gases contaminantes provoca efectos nocivos para la salud del receptor, en algunos casos es posible sufrir de enfermedades respiratorias agudas, crónicas o la muerte.

Infecciones respiratorias agudas (IRA): son degradaciones del sistema respiratorio causadas por la exposición e inmisión frecuente de material particulado y gases contaminantes, emitidos por diversas fuentes de contaminación (OMS, 2015), una de las fuentes de emisión de gases contaminantes son las fuentes móviles del sector público.

Centros de diagnóstico automotor (CDA): son entidades privadas certificadas para realizar la revisión técnico-mecánica y medición de emisiones de gases contaminantes para vehículos pesados y livianos (Resolucion, 2005). Estas entidades tienen la autoridad para inhabilitar vehículos por incumplir la normatividad colombiana, para este proyecto utilizar información proveniente de un CDA representa confiabilidad, en el proceso de análisis cuantitativo y cualitativo de unidades vehiculares (Cooper & Arioly, 2016).

Certificado de emisiones: es un documento donde se consignan los resultados de la medición de contaminantes del aire, emitidos por las fuentes móviles, evaluando la combustión vehicular conforme a los métodos, ciclos o procedimientos establecidos en la normatividad vigente (Figueredo Forero, 2008).

Velocidades ralenti y crucero: Los gases emitidos por los vehículos en la prueba de emisiones se miden en dos velocidades, velocidad ralenti que es el régimen mínimo de revoluciones por minuto (RPM) a las que se ajusta un motor de combustión interna para permanecer en funcionamiento y velocidad crucero la cual hace referencia a las RPM constantes que requiere un motor de combustión interna para mantener una velocidad estandar (Cooper & Arioly, 2016).

6.3. Marco Legal

Tabla 2 Normatividad colombiana pertinente para el proyecto

RESOLUCIÓN 0910 DE 2008	Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres. Fundamenta el desarrollo del proyecto debido a que contempla los límites máximos de emisión permisibles para vehículos a gasolina según la clasificación de las fuentes móviles para la medición de emisiones conforme a los ciclos de prueba de los Estados Unidos (Diario Oficial 47030 de junio 24 de 2008).
RESOLUCIÓN 610 DE 2006	Por la cual se establece la norma sobre niveles de inmisión, para todo el territorio nacional con el propósito de garantizar un ambiente sano y minimizar los riesgos sobre la salud humana que puedan ser causados por la concentración de contaminantes en el aire ambiente, relevante en el proyecto de acuerdo con el constante aumento de enfermedades respiratorias por la exposición a contaminantes emitidos por los vehículos de servicio público en Villavicencio (Diario Oficial 46232 de abril 05 de 2006, vigente durante toda la etapa de estudio, derogada a finales del año 2017)
RESOLUCIÓN 4062 Min. Transporte y Min. Ambiente DE 2007	Por la cual se establecen las condiciones mínimas que deben cumplir los Centros de Diagnóstico Automotor para realizar la revisión técnico-mecánica y de gases de los vehículos automotores que transiten por el territorio nacional. Conforme a estas condiciones se validan los datos que serán procesados en el proyecto teniendo en cuenta que los CDA de Villavicencio proporcionan la información secundaria requerida para realizar el procesamiento estadístico (Diario Oficial 46100 de noviembre 22 de 2005).
RESOLUCIÓN 378 DE 1997	Implementa la prueba dinámica para la expedición del certificado de emisiones, esta es la prueba certificada de la cual se obtendrán las mediciones de los gases a procesar en el software RStudio, por ende es importante su certificación nacional (Diario Oficial No. 37.987, de 28 de mayo de 1997).

Tabla 2 Continuación

RESOLUCIÓN 5 DE 1996	Reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a diésel, estos umbrales permitirán evidenciar la variación de las emisiones con respecto a la antigüedad dentro de las condiciones legales del estado colombiano (Diario Oficial No. 21.736, de 9 de enero de 1996).
DECRETO 1552 DE 2000	Por el cual se reglamenta el control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Sobre esta normatividad es importante resaltar el artículo 39 referente a la obsolescencia del Parque Automotor. El cual estipula que los municipios y/o distritos podrán establecer restricciones a la circulación de automotores por razón de su antigüedad u obsolescencia, cuando sea necesario para disminuir los niveles de contaminación en zonas urbanas (Diario Oficial No. 41876 de 5 de junio de 1995).
DECRETO 948 DE 1995	Por el cual se establecen las restricciones para vehículos que funcionen con diésel, este decreto regula otras generalidades como la capacidad de carga o el número total de pasajeros a transportar por cada vehículo, importante para categorizar una unidad vehicular pública como obsoleta o anticuada según la actualidad de la tecnología motor (Diario Oficial No. 44.133, de 18 de agosto de 2000).

Nota: Normativa constitucional de la república de Colombia aplicada al proyecto para el análisis de las emisiones atmosféricas y la revisión de gases, Adaptado: Iván Duarte, 2018.

7. Metodología

Hipótesis: El paso del tiempo influye en el funcionamiento de los vehículos, provocando que emitan niveles más altos de gases contaminantes con respecto a los vehículos actualizados.

Para analizar la variación de la emisión de gases atmosféricos procedentes de los vehículos del sector público en el tiempo, se llevaron a cabo tres fases. En la primera fase el objetivo fue recopilar información secundaria de los centros de diagnóstico automotriz en adelante (CDA) y la secretaría de movilidad municipal en adelante (Sertravi). posteriormente, se categorizaron y filtraron las variables que se encontraron en la información suministrada y seguidamente se organizaron los datos en Excel. La segunda fase consistió en exportar la base de datos al software *RStudio* donde se dio inicio al análisis estadístico. Para finalizar, en la tercera fase se discutieron los resultados de la información depurada generando conclusiones sobre el comportamiento de las emisiones de gases contaminantes generadas por los vehículos del sector público en función de su antigüedad, información con la cual se elaboraron iniciativas que promueven mejoras en la gestión del servicio público en la ciudad, esperando que las entidades correspondientes actúen al respecto.

7.1. Fase I Compilación y filtro de información secundaria

7.1.1. Recopilación de información secundaria

Se agendaron reuniones en las entidades públicas y privadas, donde se presentó el proyecto y se solicitó formalmente la información necesaria para el desarrollo del mismo, se establecieron relaciones de confianza en acuerdos de confidencialidad y compromisos de vinculación con las entidades, se solicitaron: primero antecedentes históricos de los proyectos afines realizados en el municipio, segundo los registros de la revisión técnico mecánica y de gases de los vehículos del sector público, y por último, cantidad de vehículos públicos registrados oficialmente en el parque automotor de la ciudad. El registro de los oficios correspondientes tanto de la petición de información como la respuesta de las entidades participantes en el estudio se encuentra anexo en el inciso A.

7.1.2. Clasificación y selección de la información

Obtenida la información secundaria, se realizó un análisis primario de la información en tres pasos, primero se realizó el proceso de validación de datos, segundo se establecieron los criterios para la selección de información pertinente al proyecto y tercero se organizó la información depurada.

7.1.2.1. Proceso de validación de datos

Siguiendo como fuente de referencia el *DOCUMENTO METODOLÓGICO DE ESTADÍSTICAS DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE - EMSCA (GPVD) del IDEAM* (IDEAM, 2016), se siguieron las especificaciones y reglas para la validación de datos estadísticos referentes a la calidad del aire, teniendo en cuenta que son recomendaciones que sugieren el análisis de características particulares de los datos, tales como: prueba del total de datos, datos atípicos, datos sin sentido físico, valores negativos y valores de las relaciones entre las concentraciones de sustancias contaminantes (Gracia, 2013).

7.1.2.2. Criterios para selección de información

Luego de recibir y validar la información se identificaron las variables suministradas tanto por la secretaria de movilidad como por el centro de diagnóstico automotriz, de tal manera que se pudo organizar en forma de matriz, con la intención de integrar criterios de continuidad y pertinencia a las variables, y de esa forma verificar y filtrar las variables que no aportan al desarrollo del proyecto (Gracia, 2013).

7.1.2.3. Orden de información depurada

El orden de la información se llevó acabo en diez directorios de Excel, cinco para vehículos que funcionan a base de diésel y cinco para gasolina regular; la consigna principal fue organizar la información en sistema ascendente, siguiendo la referencia metodológica de Kiley Sniffer, en la cual se agrupan los modelos vehiculares en rangos de cinco años: 1990-1995, 1996-2000, 2001-2005 y 2006-en adelante, ya basado en la cantidad de datos y la similitud de los mismos, interpreto que la variación de los datos en un rango de cinco años es relativamente poca.

7.1.3. Estructura de las bases de datos definitivas

Para exportar los datos seleccionados al software comercial *RStudio* se siguió la siguiente secuencia; se eligió la información pertinente para el desarrollo del proyecto, y se estructuraron diez directorios de datos con dicha información (Tabla 3)

Tabla 3 Bases de datos

Directorios de datos			
Gasolina		Diésel	
2012	25 Datos	2012	248 Datos
2013	28 Datos	2013	2318 Datos
2014	70 Datos	2014	1835 Datos
2015	49 Datos	2015	1239 Datos
2016	51 Datos	2016	1303 Datos
	223 Datos		6943 Datos

Nota: Cantidad de datos por directorio Excel procesados en el proyecto, Adaptado: Iván Duarte, 2018.

Las características de los directorios varían según el tipo de combustible, para gasolina el directorio conto con medición de emisión de hidrocarburos, dióxido de carbono y monóxido de carbono en dos velocidades, ralenti y crucero para microbuses; los directorios de diésel solamente contaron con la medición del porcentaje de opacidad para los tres tipos de vehículos: microbús, bus y buseta.

7.1.3.1. Especificaciones para el uso del lenguaje de programación

Se siguieron especificaciones tomando como referencia el manual *RStudio* (Novoa & Solano, 2016):

- No utilizar mayúsculas.
- No dejar espacio entre palabras.
- Utilizar la misma fuente en todo el documento.
- No utilizar puntos en los datos cuantitativos reemplazarlos por comas.
- Guardar el formato texto delimitado por comas (CSV).

Estas especificaciones conforman el formato óptimo para ser exportado correctamente en el lenguaje de programación que utiliza el software comercial *RStudio* para procesar la base de datos exitosamente.

7.1.3.2. Verificación individual de los vehículos

Paralelo a la estructura de las bases de datos, se realizó la identificación del total de vehículos que formaron parte de la muestra; se generó una columna en el software Excel en la cual se recopilaban el total de las placas vehiculares suministradas en los registros del centro de diagnóstico automotor, el resultado fue 7166 placas, luego se eliminaron las repeticiones de cada placa, para concluir con 1136 placas diferentes, las cuales se presentan 1136 vehículos diferentes que formaron parte de este análisis de emisiones atmosféricas, validadas las placas por medio del registro de la secretaria de movilidad se organizaron con su respectiva marca en el inciso B.

7.2. Fase II aplicar las herramientas del software *RStudio*

7.2.1. Procedimientos estadísticos

7.2.1.1. Proceso de correlación de variables (RStudio)

Se implementaron las funciones estadísticas de acuerdo con su elemento principal de análisis, para este caso se utilizaron procedimientos de correlación, entre una variable categórica (modelo) y una variable cuantitativa (emisión contaminante), utilizando el lenguaje de programación R para obtener como resultado la gráfica de densidad de *Kernel* por aglomeraciones de puntos (histogramas de escenarios) (Novoa & Solano, 2016)

Una vez se implementó el software *Rstudio* fue posible relacionar cada clase vehicular con respecto a sus respectivas emisiones atmosféricas, por lo que fue posible procesar tres gráficos anualmente, uno por cada clase, en los cinco años de periodo de estudio para vehículos diésel, para un total de quince graficas de modelos diésel. En el caso de los vehículos a base de gasolina se relacionó, la velocidad a la que se realizó la prueba con respecto a la emisión de gases de los microbuses en cada año, lo que dio como resultado tres graficas por cada año de estudio, para un total de 15 gráficas para vehículos que funcionan a base de gasolina regular.

7.2.1.2. Proceso de estadística descriptiva (Excel)

Teniendo en cuenta la mejor presentación que es posible lograr en los procesamientos estadísticos realizados en Microsoft Excel, se decidió utilizar las herramientas de este software para organizar de manera más comprensible la información de la secretaria de movilidad y la relación con la información suministrada por el CDA; como complemento se emplearon las funciones descriptivas media, mediana, moda, desviación típica, cuartiles y sumatorias del software Microsoft Excel, para analizar la información referente a una variable de manera individual.

7.2.2. Exportación de resultados.

Luego de concluir el proceso de las funciones cualitativas y cuantitativas, fue necesario correr el modelo en más de cincuenta escenarios diferentes, todos contemplando la variación de las emisiones contaminantes con respecto al paso del tiempo.

7.2.2.1. Criterios para la selección de escenarios RStudio

Finalmente se eligieron los escenarios más representativos para incluirlos como resultados en el documento final, teniendo en cuenta los siguientes criterios de selección: distribución de los datos en la relación de las variables, comparación entre los datos anualmente y contraste anual de los datos, se integraron los criterios y los escenarios en una matriz de comparación para hacer la elección de los escenarios y archivar los demás en formato digital ya que el análisis integrado del total de los resultados permitió realizar las posteriores conclusiones referentes a la fluctuación de las emisiones contaminantes de los vehículos de uso público con respecto a su antigüedad. (Gracia, 2013)

7.2.2.2. Graficas exportadas de Microsoft Excel

Con el uso de este software fue posible graficar porcentualmente el parque automotor de Villavicencio en un diagrama de torta tridimensional con especificación del servicio público (excluyendo taxis) y también relacionar la cantidad de vehículos del servicio público registrados oficialmente en la ciudad de Villavicencio, con la cantidad de vehículos de la misma clase que participan en el presente estudio, en un diagrama de barras tridimensional, logrando ilustrar la magnitud del proyecto.

7.3. Fase III Analizar la variación de las emisiones con respecto al paso del tiempo.

7.3.1. Análisis de la fluctuación de las emisiones atmosféricas en el tiempo.

Se ubicaron secuencialmente los gráficos simulando una línea de tiempo de cinco años, que permitió realizar inicialmente una inspección visual, en la cual se examinaron las tendencias identificadas con el paso de los años, ya que la frecuencia de cualquier valor en este tipo de grafica genera aglomeraciones de puntos, dichas aglomeraciones fueron tomadas como indicadores de relación, importantes para dar inicio al análisis de emisión de gases contaminantes de los vehículos del sector público con respecto a su antigüedad

7.3.1.1. Análisis para vehículos que funcionan a base de diésel

Para los vehículos que funcionan a base de diésel donde únicamente es posible analizar el porcentaje de opacidad, se analizó el cumplimiento de la normatividad de emisiones tanto nacional como internacional, además se analizó por qué la notoria falta de datos o la continuidad de los datos en el mismo porcentaje con el paso de los años, se respaldó el análisis por medio de resultados estadísticos, donde la influencia del tiempo sobre el funcionamiento de los automóviles es notoria en términos de emisiones contaminantes.

7.3.1.2. Análisis para vehículos que funcionan a base gasolina regular

El análisis para los vehículos que funcionan a base de gasolina regular no solo permitió evidenciar la tendencia al aumento de las emisiones atmosféricas con el paso de los años sino que con base en los antecedentes fue posible relazar un diagnóstico de las falencias de los componentes de la combustión interna de los motores, teniendo en cuenta que el fallo de un componente en específico del sistema de combustión puede aumentar las emisiones de un gas contaminantes en específico, para este caso CO, HC, CO₂

7.3.2. Elaboración de iniciativas

Una vez se generó evidencia técnica tanto cuantitativa como cualitativa en función de la información analizada, se dio soporte la hipótesis inicial referente a la variación de las emisiones de gases atmosféricos en función de la antigüedad de cada modelo vehicular, lo cual permitió proponer iniciativas que promueven la gestión de mejoras para la problemática detectada en

Villavicencio Meta, con la intención de que las entidades competentes den tratamiento a las deficiencias sociales y ambientales del municipio.

Es posible seguir el flujo de trabajo llevado a cabo en el presente proyecto de manera ilustrativa por medio de la figura número dos, donde se establece el diagrama de flujo metodológico, que permite evidenciar la línea de trabajo procedimental del proyecto.

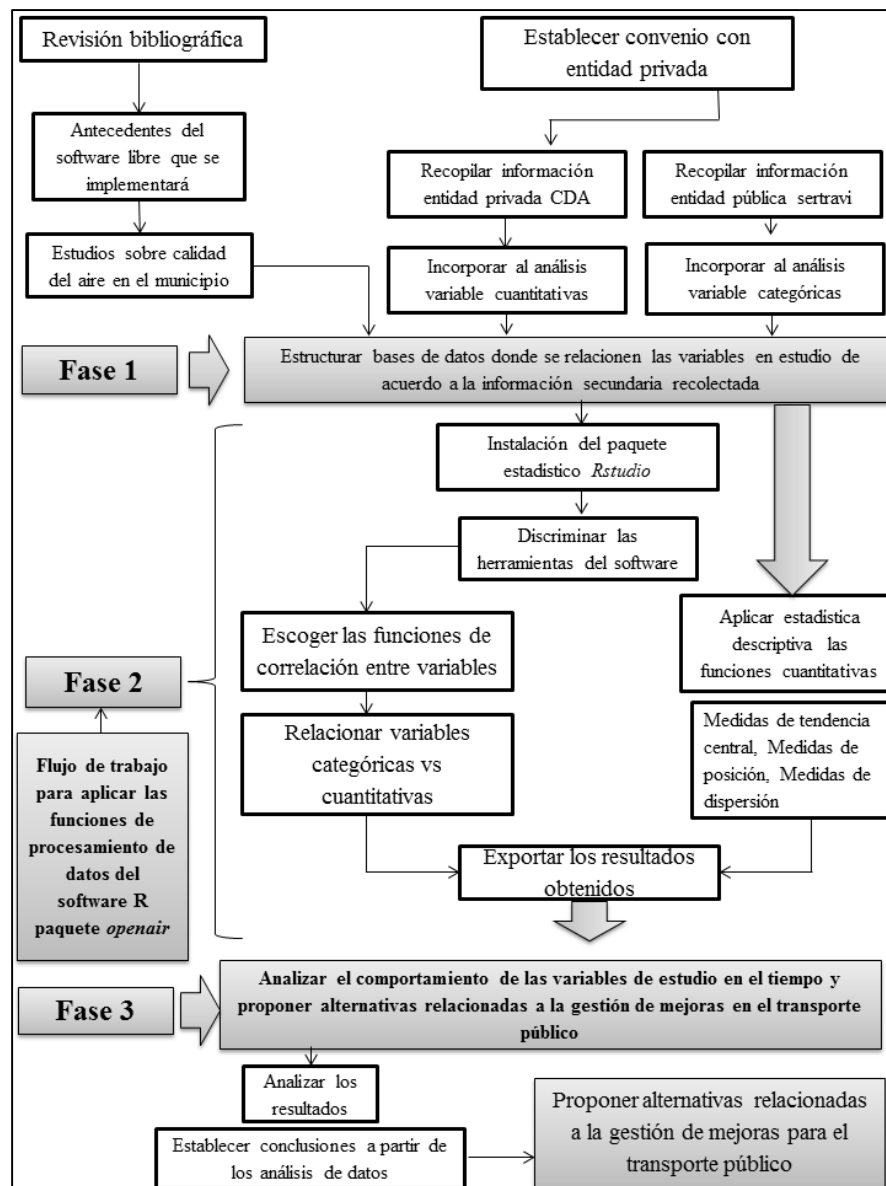


Figura 2 Planteamiento metodológico en diagrama de flujo, Adaptado: Iván Duarte, 2018.

8. Resultados y análisis de resultados

8.1. Fase I. Identificación de variables en estudio

8.1.1. Validación de la información secundaria

Utilizando las funciones de validación de datos de Microsoft Excel se aplicaron listas de entradas tanto cuantitativas como cuantitativas a los diez directorios suministrados por el CDA, con la intención de restringir los valores permitidos en cada celda y de esa manera eliminar el uso de datos erróneos en el estudio (soporte técnico Microsoft).

Se detectaron 158 entradas incorrectas de información mediante la herramienta auditoria, fue posible realizar este procedimiento mediante la validación de datos atípicos, ya que previamente se dejó claro en el listado que cualquier dato del directorio de información que no perteneciera a buses, microbuses o busetas (función tipo de dato permitido en la celda), sería un dato atípico y por tanto errado, que en este caso será cualquier información de una clase de vehículo ajeno a la lista de validación (soporte técnico Microsoft).

seguidamente se aplicó la validación de los datos por mensajes de alertas: alerta por error, alerta de advertencia y alerta de información (Tabla 4) por medio de la función auditoria.

Tabla 4 Validación de datos por sistema de alertas

Alerta por error	Alerta de advertencia	Alerta de información
132 celdas	221 celdas	941 celdas

Nota: Datos erróneos detectados en el proceso de validación, Adaptado: Iván Duarte, 2018.

Alerta por error: en esta función se configuro la validación, para que en los casos que se detectara celdas vacías, se active un sistema de alerta por error que informe al usuario.

Alerta de advertencia: por medio de la validación de datos por intervalos numéricos, donde se utilizó 1 como límite inferior y 30 como superior, el software alerto al usuario sobre los datos que sobre pasaban los límites de la normatividad de emisiones en colombiana.

Alerta de información: la identificación de celdas con el número 30 en específico permitió advertir al usuario sobre las celdas donde se cumplía al límite la normatividad de emisiones en Colombia.

8.1.2. Filtro de variables

Entre la metodología procedimental de un análisis estadístico, uno de los pasos iniciales y fundamentales es la identificación y filtro de variables, puesto que en la mayoría de los casos el 100% de la información no es pertinente en el estudio que se pretende realizar, por tal motivo para este caso tanto la información recolectada en el CDA como la información suministrada por la secretaria de movilidad fue organizada y filtrada, partiendo del principio de afinidad de información con respecto al objetivo general del proyecto; los argumentos de eliminación de información que se tuvieron en cuenta fueron:

- Información incompleta.
- Información de escasa o nula afinidad con el proyecto.
- Información fuera del tiempo muestral.

8.1.2.1. Matriz de selección para las variables en estudio (SERTRAVI)

Con base en la información recolectada del Centro de diagnóstico automotriz y la secretaria de movilidad de Villavicencio (SERTRAVI), se dio inicio a la identificación y selección de variables, por medio de las matrices de criterios, logrando como resultado ordenar y descartar la información poco pertinente para el desarrollo del proyecto.

Tabla 5 Matriz de Variables suministradas por la secretaria de movilidad

variable	proyeccion del	cantidad total del	combustible del	cantidad de	conteo anual de
criterio	parque automotor	parque automotor	vehiculo	vehiculos por clase	vehiculos
pertinencia de la informacion	NO	SI	SI	SI	NO
continuidad de los datos	SI	SI	NO	SI	SI
aplicabilidad en el estudio	NO	SI	SI	SI	NO
selección de variables	variable no seleccionada	variable seleccionada	variable seleccionada	variable seleccionada	variable no seleccionada

Nota: Proceso de selección de variables suministrada por la secretaria de movilidad, afines al objetivo general del proyecto, adaptado: Iván Duarte, 2018.

Es posible visualizar el proceso de filtro en la Tabla 5 donde se resalta con color rojo la información eliminada y en negro la utilizada, en primera instancia el proceso de filtro realizado sobre la información suministrada por la secretaria de movilidad (Tabla 5) dio como resultado la inclusión al proyecto la cuantificación total del parque automotor, la caracterización por clase en el total del parque automotor, la categorización de vehículos por tipo de combustible y el informe de las características de los vehículos pertenecientes al servicio público. Se excluyó la proyección de crecimiento del parque automotor ya que para este análisis solo se tienen en cuenta registros de cinco años del 2012 a 2016 y los datos citan una proyección porcentual, de igual manera el conteo anual del parque automotor permite evidenciar el crecimiento anual de la flota vehicular, sin embargo, es información poco pertinente para este análisis

El principal motivo de la elección de los vehículos del servicio público sobre otras clases de vehículos como lo son las motocicletas o vehículos privados, fue la falta de información cualitativa, debido a que la principal característica de los vehículos privados, es la auto regulación de la frecuencia de circulación en el casco urbano de la ciudad; por otra parte, la secretaria de movilidad suministro valiosa información cualitativa sobre los vehículos del servicio público como: las rutas de transporte público en las que cada vehículo transita alrededor de 12 horas continuas, recorriendo un total aproximado de 175 km/día en los que consumen 7 galones de combustible diariamente, gastando entre 50.000 y 60.000 pesos colombianos en combustible diariamente (SERTRAVI, 2017).

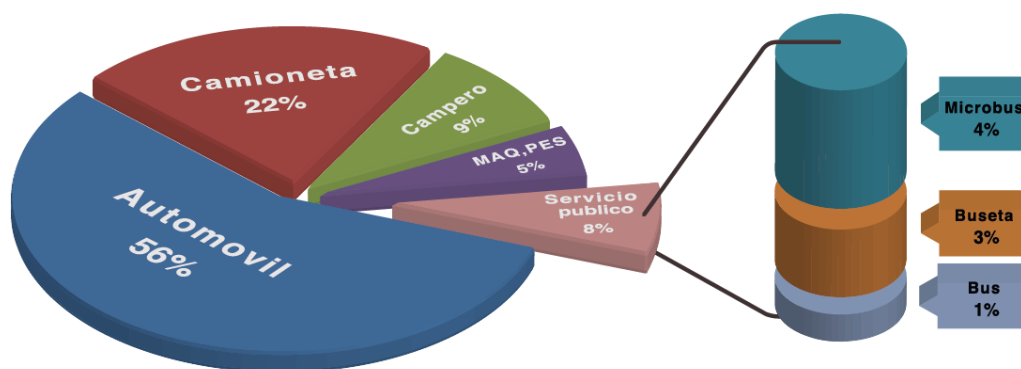


Figura 3 Caracterización del parque automotor de Villavicencio Meta, Adaptado: Iván Duarte, 2018.

Como resultado del procesamiento estadístico de la información de la secretaria de movilidad se obtuvo el diagrama de torta con énfasis piramidal en tercera dimensión presentado en la Figura 3, donde se ilustra el 100% del parque automotor de Villavicencio (31.214 vehículos excluyendo las motocicletas) y se enfatiza el 8% (2311 vehículos) referente a los vehículos objetivo de estudio; de igual manera, es posible apreciar en la ilustración la división interna del servicio público: microbuses 4% (1268 vehículos), busetas 3% (837 vehículos) y buses 1% (206 vehículos); el gremio de taxis fue contado como particulares puesto que tampoco se conoce su frecuencia de circulación.

Con las variables filtradas y procesadas fue posible visualizar de manera más clara (grafico3) el porcentaje total de los vehículos del servicio público con respecto al total del parque automotor de la ciudad, información valiosa en la que se evidencia a los vehículos objeto de estudio como una clase importante entre la flota vehicular del municipio.

8.1.2.2. Matriz de selección para las variables en estudio (CDA)

De igual manera el proceso de verificación y filtro de variables se realizó empleando una matriz de criterios sobre la información provista por el centro de diagnóstico automotriz.

Tabla 6 Matriz de Variables suministradas por el CDA

variable criterio	Marca del vehiculo	Resultado de la revision	Fecha exacta de la prueba	Registro de emision contaminante	Clase del vehiculo	Modelo del vehiculo
pertinencia de la informacion	NO	NO	NO	SI	SI	SI
continuidad de los datos	SI	SI	NO	SI	SI	SI
aplicabilidad en el estudio	NO	NO	NO	SI	SI	SI
selección de variables	variable no seleccionada	variable no seleccionada	variable no seleccionada	variable seleccionada	variable seleccionada	variable seleccionada

Nota: Selección de variables suministradas por el CDA, afines al objetivo general del proyecto, Adaptado: Iván Duarte, 2018.

Inicialmente se recibieron diez fuentes de datos con información similar, la cual se dividió en primera instancia en 5 directorios para vehículos que funcionan a base de gasolina y 5 directorios para vehículos que funcionan a base de combustible diésel, la similitud de los directorios permitió que se eliminaran variables semejantes como la marca del vehículo, la cual no aporta en absoluto al proyecto o el resultado aprobado o denegado de la revisión técnico mecánica, que

para todos los casos fue aprobado, por último la fecha exacta de la revisión no es pertinente ya que se utiliza únicamente el año en el que se hizo la prueba.

Luego de filtrar las variables suministradas por el CDA relacionando su pertinencia en el proyecto, se obtuvo como resultado el diagrama de selección de variables presentado en la Figura 4.

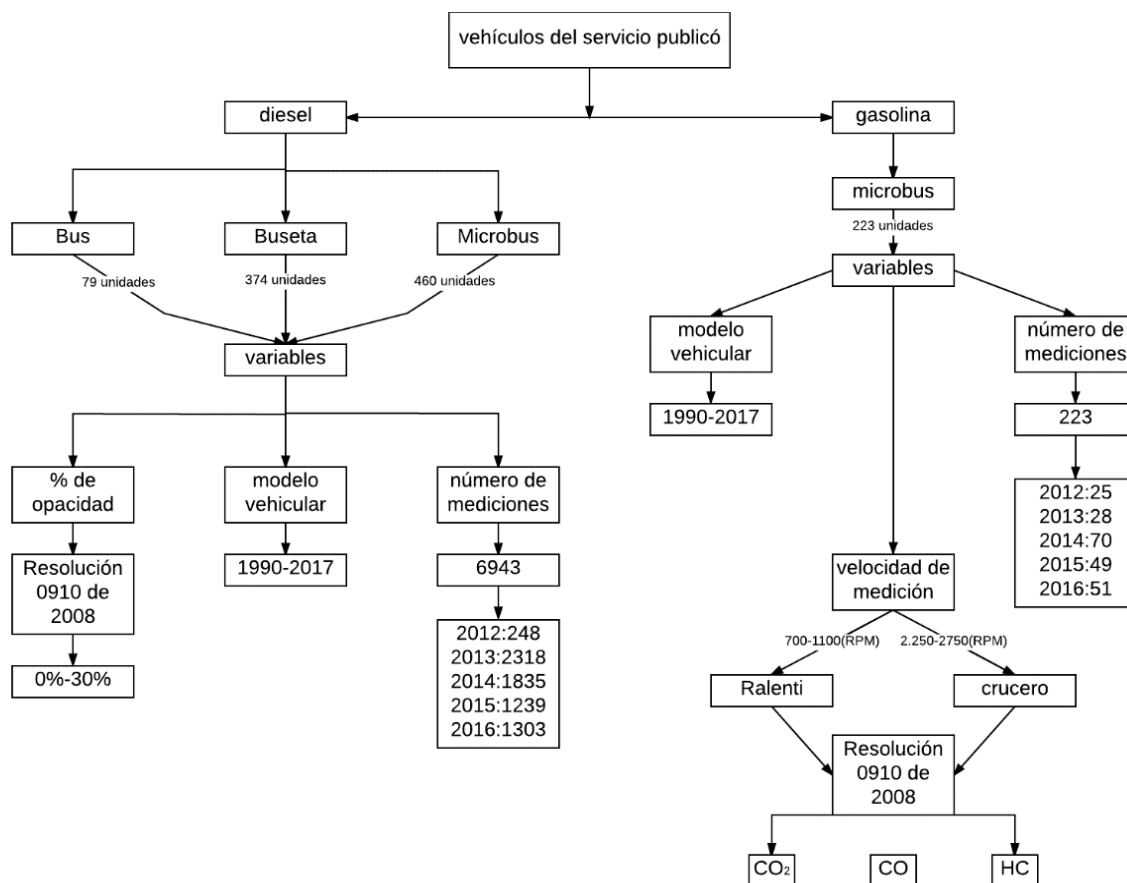


Figura 4 Variables seleccionadas de la información suministrada por el CDA, Adaptado: Iván Duarte, 2018.

El total de las variables (Figura 4) filtradas según su pertinencia para el desarrollo del proyecto, suministraron como resultado bases de datos planas, en el formato correcto para seguidamente ser importadas al software *RStudio*, de esta manera se llevó acabo el inicio del flujo correcto del trabajo donde el objetivo primordial es que se enfoque netamente el estudio, al análisis de las emisiones atmosféricas generadas por un vehículo con respecto a su modelo, que es el objetivo general del presente proyecto.

8.1.3. Resultados de población muestral

Con el fin de obtener resultados representativos en el análisis estadístico, se realizó el cálculo de la población muestral, el cual fue determinante a la hora de la recolección del total correcto de los vehículos que conformarían una muestra representativa de la población objetivo, como resultado del cálculo matemático de la población muestral idónea se obtuvo:

Fórmula para el cálculo de la muestra

Z: intervalo de confianza: 1.95

e: nivel de error permitido: 0.03

P: proporción a estimar: 0.5

Q: P-1: 0.5

$$N = \frac{Z^2 * P * Q}{e^2} = 1067 \text{ vehículos}$$

Ecuación 1 Cálculo de la muestra

Sin embargo, esta fórmula se debe ajustar debido a que se conoce el tamaño de la población objetivo de vehículos que circulan el casco urbano de la ciudad, el cual es un total de 2311 unidades vehiculares

$$n = \frac{N}{1 + \frac{N-1}{n}} = 730 \text{ vehículos}$$

Ecuación 2 Calculo de la muestra ajustado a la población

La muestra total ajustada resultó ser de 730 vehículos, lo que significa que la población muestral representativa del 100% de los vehículos del servicio público (2311 vehículos) es el 31.5% (730 vehículos).

La relación de resultados entre el cálculo de la población muestral y el conteo del total de las unidades vehiculares que se tuvieron en cuenta en el estudio, superó satisfactoriamente las expectativas, puesto que teniendo en cuenta el ajuste a la formula inicial del tamaño de la muestra indicada para el proyecto, el resultado obligaba a que el análisis contara con un mínimo de 730 vehículos que representan el 31.5% del 100% total de la población objetivo, luego de

conocer este requisito se dio inicio al conteo de vehículos participantes en el estudio por medio de la comparación de placas, que dio como resultado un total de 1136 vehículos participantes en el proyecto (inciso B) durante los cinco años del periodo de estudio, es importante resaltar que las 1136 unidades vehiculares participantes en el proyecto representan el 49% del 100% de las unidades de la población objetivo, superando el 31.5% (730 vehículos) solicitado en el cálculo de la población muestral.

8.1.3.1. Relación de los datos del CDA y secretaria de movilidad

La relación gráfica de las dos fuentes de información permite visualizar el porcentaje de vehículos de cada clase que se tienen en cuenta en el proyecto con respecto al total de vehículos registrados oficialmente en la secretaria de movilidad (Sertravi), basados en los resultados es posible afirmar que para este proceso de análisis, de cada clase vehicular se cuenta con: el 38% del 100% de los buses registrados en la secretaria de movilidad hasta el año 2016, el 45% del 100% de las busetas registradas en la secretaria de movilidad hasta el año 2016 y el 54% del 100% de los microbuses registrados en la secretaria de movilidad hasta el año 2016 en el parque automotor de Villavicencio Meta (Figura 5), por lo cual es posible catalogar este proyecto con estándares de confianza muestral.

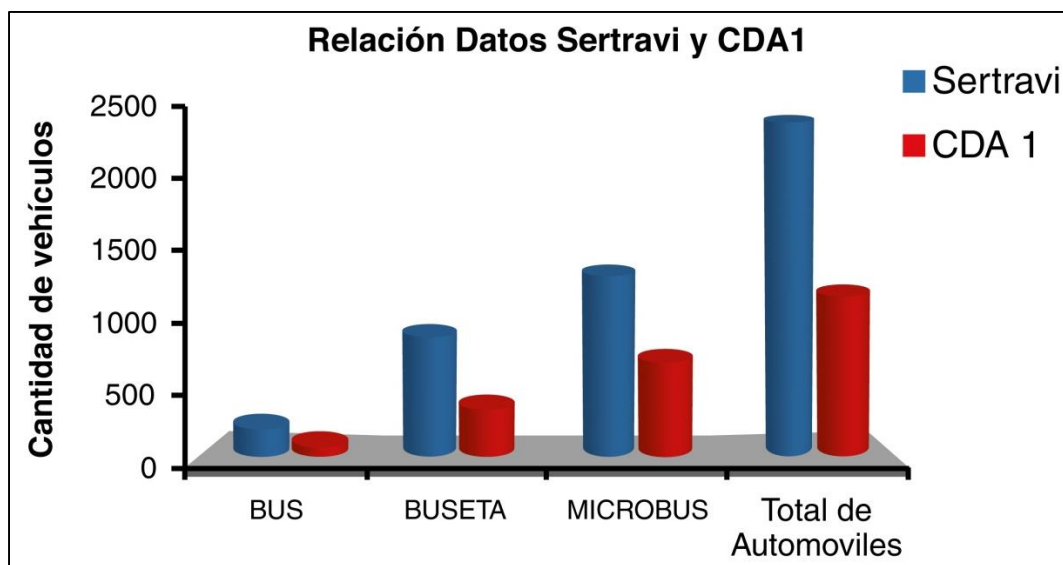


Figura 5 Relación de información Sertravi y CDA, Adaptado: Iván Duarte, 2018.

Como resultado del proceso de relación es posible evidenciar en la Figura 5 la muestra representativa sobre el total de las unidades registradas; específicamente los vehículos pertenecientes a la muestra son un total de 1136 unidades categorizadas en: 683 microbuses, 79 buses y 374 busetas, estas unidades consolidan la población representativa necesaria para el desarrollo del proyecto y suministran las 7166 mediciones de emisión de gases contaminantes utilizadas en el análisis estadístico del año 2012 al año 2016.

8.2. Fase II. Implementación de las herramientas del Software *RStudio*

8.2.1. Análisis estadístico para vehículos que funcionan a base de diésel

Para analizar el comportamiento fluctuante de las emisiones de gases atmosféricos generados por los vehículos del sector público de Villavicencio, se exporto desde el software *RStudio* como resultado las Figuras 6, 7 y 8 donde se relaciona el modelo del vehículo con respecto al porcentaje de opacidad emitido por el mismo.

Selección de escenarios

La selección de los escenarios se realizó mediante la matriz de criterios para selección de escenarios en la cual se archivaron los escenarios que no cumplen con los parámetros establecidos para expresar de manera clara la idea expuesta

Tabla 7 matriz de selección de escenarios

Escenario criterio	2012	2013	2014	2015	2016
distribucion de datos	SI	NO	NO	NO	NO
registros en todos los años	SI	NO	SI	NO	SI
variacion de datos anualmente	SI	SI	SI	SI	SI
Escenario bus	Escenario seleccionado	Escenario no seleccionado	Escenario no seleccionado	Escenario no seleccionado	Escenario no seleccionado
Escenario microbus	Escenario seleccionado	Escenario no seleccionado	Escenario no seleccionado	Escenario no seleccionado	Escenario seleccionado
Escenario buseta	Escenario no seleccionado	Escenario no seleccionado	Escenario seleccionado	Escenario no seleccionado	Escenario no seleccionado

Nota: Criterios de selección para los escenarios presentes en el documento, Adaptado: Iván Duarte, 2018.

El filtro de los escenarios dio como resultado tres gráficos en los que es posible exponer gráficamente la hipótesis inicial, para el caso de microbuses se hace la relación grafica entre dos escenarios 2012 y 2016 en un solo gráfico, de tal manera que sea posible visualizar el aumento

de las emisiones con respecto al paso del tiempo, los 26 escenarios fueron archivados, sin embargo se usaron como línea de tiempo de utilidad para el análisis total de las emisiones en los cinco años del periodo de estudio.

Buses del servicio público

Los resultados más representativos se interpretan por medio de aglomeraciones de puntos, situados con respecto al modelo vehicular en el eje x y la emisión contaminante en el eje y; la siguiente Figura 6 permite visualizar gráficamente el caso más destacado para los buses, el cual se presentó en el año 2012, donde es notoria la reducción de emisiones contaminantes si y solo si el modelo vehicular es más actualizado.

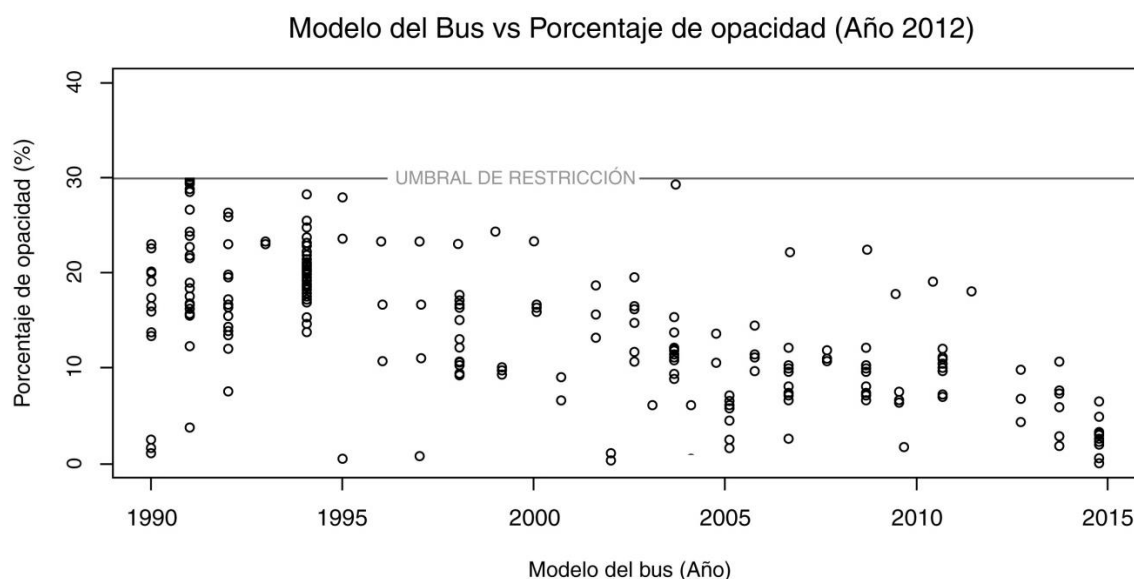


Figura 6 Relación modelo/ emisión contaminante para buses (año 2012), Adaptado: Iván Duarte, 2018.

El comportamiento de las emisiones atmosféricas identificado en los resultados, comparando entre si los gráficos anuales para los buses del parque automotor, presentó una situación particularmente marcada, la cual se denominó falta de transición; la denominada falta de transición indica que la población de buses está dividida por dos grupos opuestos, marcadamente diferenciados por medio de su modelo vehicular: un grupo antiguo donde se encuentran los vehículos de modelos entre 1990 y 1998 que sitúa en promedio su opacidad en 25% y un grupo de vehículos de modelos actualizados de modelos entre 2008 y 2016 que sitúa su opacidad en 10% como es posible verificar en la Figura 6; la falta de unidades vehiculares de modelos intermedios impide identificar aumento de las emisiones con respecto a su modelo, sin embargo

es posible confirmar que los porcentajes de opacidad más altos los presentan los modelos más antiguos.

Busetas del servicio público

El caso particular más destacado para las busetas se evidencia en la Figura 7, se elige esta situación puesto que todos los años del periodo de estudio presentan situaciones con tendencia similar.

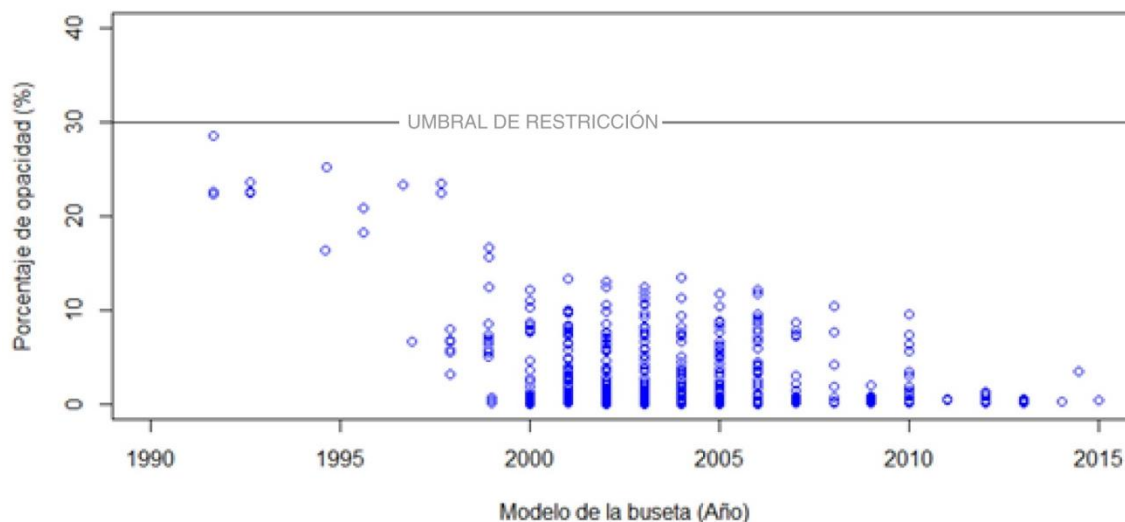


Figura 7 Relación modelo/ emisión contaminantes para busetas (año 2014), Adaptado: Iván Duarte, 2018.

El resultado de la relación estadística en la población de busetas del parque automotor representado en la Figura 7, destaca teniendo en cuenta que esta clase vehicular fue actualizada a partir del año 2002, por lo que actualmente circular muy pocos vehículos de modelos antiguos, es por esta razón que las Figuras para esta clase de vehículos presentan aglomeraciones de puntos constantes anualmente entre el 0% y el 10% de opacidad.

Microbuses del servicio público

El último caso presentado hace referencia a los microbuses a base diésel, esta clase de vehículo destaca en la investigación debido a que por la cantidad de vehículos participantes en el estudio, fue posible procesar cantidades uniformes de los diferentes modelos de esta clase en los escenarios anuales; los resultados referentes a esta clase vehicular se presentan en la Figura 8, la cual ilustra dos situaciones temporales complementarias, el escenario 2012 en rojo y el escenario 2016 en azul, en mencionadas situaciones es posible evidenciar con el paso de los años el

aumento progresivo en los registros de opacidad para modelos vehiculares entre el 2000 y el 2005, lo que indica que efectivamente los vehículos sufren un deterioro funcional con respecto a su antigüedad expresado en el aumento de sus emisiones atmosféricas.

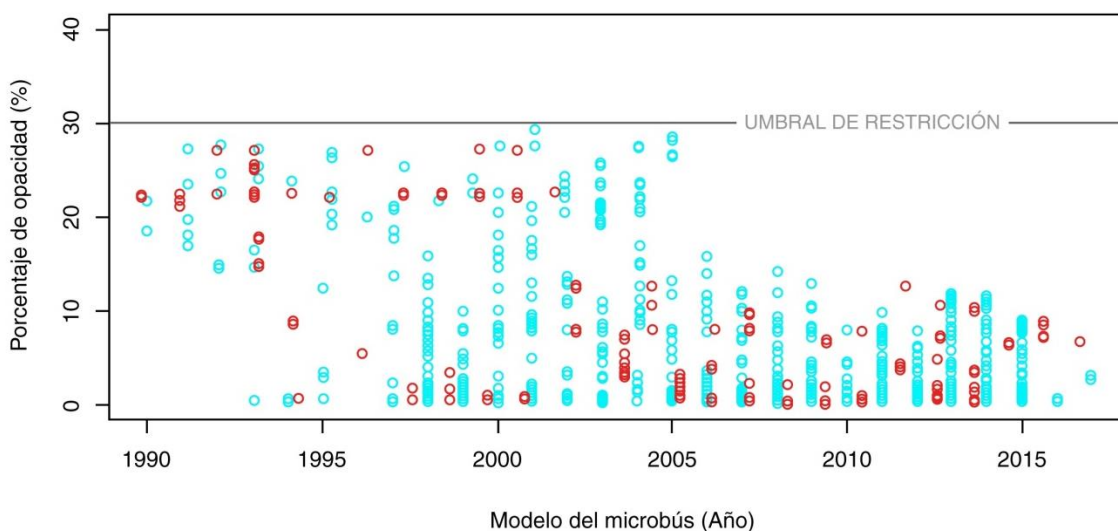


Figura 8 Relación modelo/ emisión contaminantes para microbuses (año 2012 - 2016), Adaptado: Iván Duarte, 2018.

Para este análisis es pertinente identificar dos escenarios complementarios entre sí: el escenario del 2012 denominado escenario inicial se presenta en la Figura 8 en color rojo y el escenario complementario del análisis para la clase microbuses o escenario final año 2016 presentado gráficamente en la figura 8 en color azul, donde claramente el paso del tiempo afecta el funcionamiento de los vehículos.

Relacionando entre si los resultados del escenario inicial (2012) y el escenario final (2016) es posible evidenciar la contundente diferencia entre los registros del porcentaje de opacidad para los vehículos de modelos entre 1990 y 1998 (anticuados) y los vehículos de modelos entre el 2010 en adelante (actualizados); sin embargo el alto porcentaje medido en los modelos anticuados y el bajo porcentaje registrado en los modelos actualizados se encuentra en repetidas ocasiones en resultados anteriores, el factor diferencial de los resultados en los microbuses con respecto a las demás clases vehiculares, es la fluctuación de los porcentajes de opacidad en los modelos vehiculares entre el 2000 y el 2008 denominados “modelos de transición”, puesto que en el escenario inicial registraron medidas de porcentaje de opacidad entre el 13% y el 18%, pero con el paso de los años sufrieron un desgaste, que se expresó en su porcentaje de opacidad el cual en

el escenario final llegó a ser en promedio de hasta el 25%, lo que significa que efectivamente existe un deterioro de los vehículos según transcurre la vida útil de los mismos y que ese desgaste es posible identificarlo por medio de las emisiones generadas por el vehículo estudiado.

El análisis fue complementado por medio de procedimientos descriptivos presentados en las tablas 6 (2016) y 7 (2012), se implementó este conjunto de técnicas matemáticas puesto que organiza y describe el conjunto de datos con el propósito de facilitar su comprensión.

Tabla 8 Análisis estadístico para microbuses (año 2016) Tabla 9 Análisis estadístico para microbuses (año 2012)

análisis estadístico			análisis estadístico		
	resultado	proceso		resultado	proceso
n	799	cantidad total de datos	n	790	cantidad total de datos
Media	12.22	media aritmética	Media	4.54	media aritmética
σ	11.73	desviación típica poblacional	σ	6.12	desviación estándar
δ	11.79	desviación típica muestral	δ	6.12	desviación típica muestral
$\sum x$	1209.72	suma de los "n" datos	$\sum x$	3585.55	suma de los "n" datos
$\sum x^2$	28398.2	suma de los cuadrados	$\sum x^2$	45827.60	suma de los cuadrados
Min	0.04	valor mínimo de los datos	Min	0.25	valor mínimo de los datos
Q_1	0.66	cuartil número uno	Q_1	0.25	cuartil número uno
Mediana	4.29	mediana o cuartil número dos	Mediana	1.64	mediana o cuartil número dos
Q_3	23.3	cuartil número tres	Q_3	7.67	cuartil número tres
Max	33.67	valor máximo de los datos	Max	23.7	valor máximo de los datos

Nota: Procesamiento estadístico para el análisis de emisiones de gases atmosféricos en microbuses, Adaptado: Iván Duarte, 2018.

El análisis estadístico complementario demuestra según los resultados que la población muestral sufrió un aumento abrupto en su porcentaje de opacidad, pasando de una media aritmética de 4.54% en el 2012 a una media aritmética de 12.22% en el 2016, el deterioro de las máquinas también lo demuestran las desviaciones típicas, en las que inicialmente la fluctuación estándar de los datos en el 2012 fue entre el 0% y el 10% mientras que en el 2016 presentó un aumento notorio y pasó a variar entre el 8% y el 23%; los parámetros que se mantuvieron constantes fueron los valores máximos 24% y 33% en los dos casos para modelos anticuados y los valores mínimos 0.25% y 0.04% en los dos casos para modelos actualizados.

Los escenarios anuales de *Kernel* complementados con los procesos de estadística descriptiva no solo permiten evidenciar el aumento progresivo de las emisiones atmosféricas con el paso de los años respaldando estadísticamente la hipótesis inicial, sino que el análisis de los microbuses de modelos de transición (2000-2008) demuestra que mucho antes de cumplir los 20 años de vida

útil establecidos en los planes estratégicos de seguridad vial según el decreto 1310 del 2016 los microbuses del servicio público presentan falencias estructural y funcionalmente, y por ende debe reducirse el umbral de vida útil como mínimo 5 años.

La cuestión definitiva es: ¿por qué los modelos más antiguos mantienen constante su porcentaje de opacidad con el paso del tiempo?, la respuesta se encuentra en la aceptación o no, de la revisión de gases del vehículo, según la experiencia en el Centro de Diagnóstico Automotriz al 80% de los vehículos anticuados se les rechaza su revisión de gases, por lo que se les otorga un permiso de 15 días hábiles para realizar ajustes en el sistema de combustión interna de la máquina, dichos ajustes aunque logran que la máquina apruebe la revisión de gases, únicamente logran que el porcentaje de opacidad del vehículo cumpla al límite la norma, es por esta razón que los vehículos anticuados con el paso de los años se mantienen en promedio relativamente en el mismo porcentaje de opacidad.

Desviación estándar de opacidad

La representación gráfica de la desviación estándar se elaboró estableciendo límites al sumar y restar la desviación estándar a la media aritmética (Tabla 8), el cálculo de las desviaciones estándar en los diferentes escenarios vario entre 5.56 y 6.21, como se evidencia gráficamente la desviación estándar de la opacidad para los microbuses año 2016

Tabla 10 Umbrales límite de la desviación estándar

limite sup	limite inf	Media
10.66	0.00	4.54

Nota: Límite superior e inferior para la desviación estándar, Adaptado: Iván Duarte, 2018.

El rango en el que oscila la mayor cantidad de datos en general para todas las desviaciones estándar varía entre 2% y 3% por lo que se presenta el resultado generalizado donde la mayor cantidad de registros de emisión contaminante de los vehículos que hacen parte de este análisis se encuentran entre el 0% y el 10% de porcentaje de opacidad (Figura 10)

Desviación estándar 2016

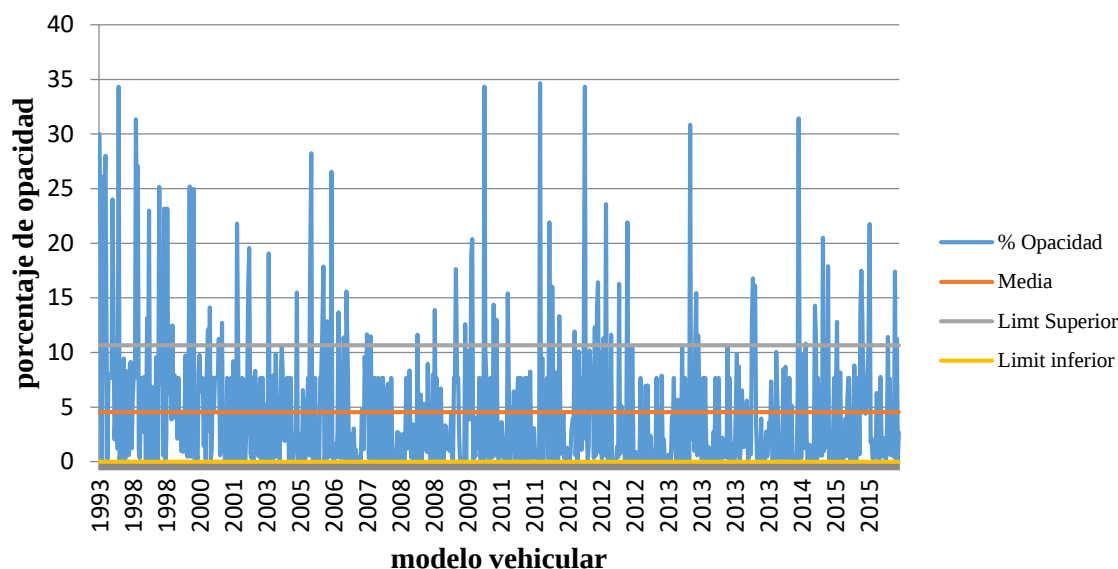


Figura 9 Desviación estándar de opacidad para microbuses en el año 2016, Adaptado: Iván Duarte, 2018.

8.2.2. Análisis estadístico para vehículos que funcionan a base de gasolina

La relación estadística para los microbuses que funcionan a base de gasolina fue complementada por la diferencia de emisiones generadas en las velocidades a las cuales se debe tomar la revisión técnica mecánica las cuales son:

- Velocidad ralentí, entre 500 y 800 RPM, este rango hace referencia al punto mínimo que el motor del vehículo es capaz de funcionar sin detener su proceso de funcionamiento sin ningún tipo de ayuda externa; claramente, el vehículo no puede moverse en este punto, pero sí puede mantenerse en marcha hasta que el combustible se termine
- Velocidad crucero, entre 1.750 y 2.750 RPM, este rango es la velocidad estándar promedio en la cual mantiene su funcionamiento un vehículo durante su proceso de combustión interna diario

La comparación grafica entre las velocidades a las cuales se realiza la medición de gases para vehículos a base de gasolina, se evidencia en las figuras 11, 12 y 13 donde se visualizan los escenarios más significativos para el proceso analítico. (Bosch, 2013)

Emisión de dióxido de carbono en microbuses

El escenario seleccionado por la matriz de criterios donde es posible representar de manera clara la relación entre el dióxido de carbono (CO_2) y los diferentes modelos vehiculares participantes en el estudio, se presentó en el año 2015 evidenciado en la Figura 11.

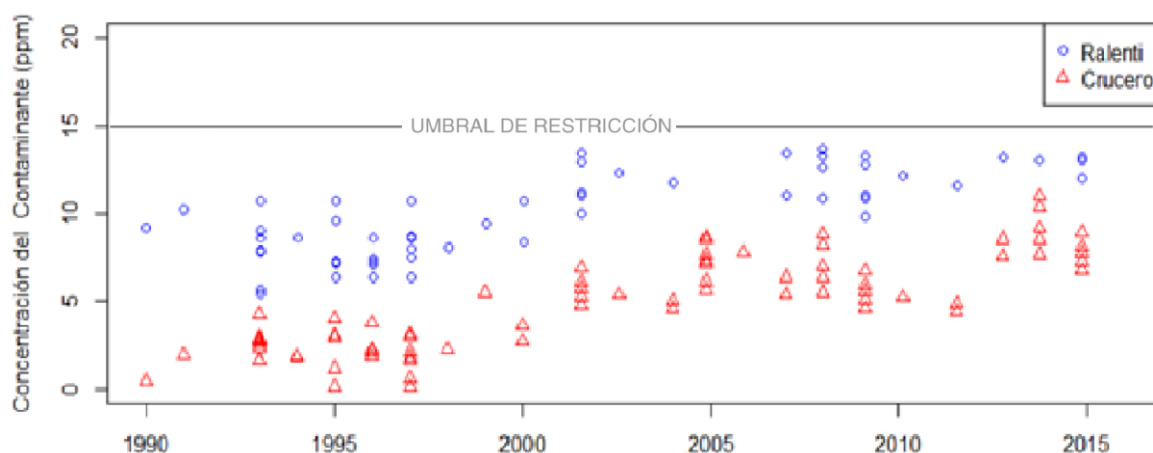


Figura 10 Relación de dióxido de carbono/modelo vehicular (año 2015), Adaptado: Iván Duarte, 2018.

La medición individual de gases atmosféricos en los vehículos que funcionan a base de gasolina permite considerar diversas situaciones según el comportamiento de contaminantes particulares, un ejemplo claro de esto, es la emisión de dióxido de carbono (CO_2) donde con el paso de los años, los vehículos más antiguos emiten en menor proporción CO_2 que los vehículos más actualizados (Figura 11) esta relación destaca, puesto que resulta completamente inversa con respecto a los resultados obtenidos en el proceso de análisis de los vehículos a base de diésel, sin embargo es posible complementar los resultados, teniendo en cuenta que los registros de emisiones bajas de CO_2 significan que el sistema de combustión interna del motor presenta combustión incompleta, y dichas deficiencias se expresan en el aumento de los demás contaminantes atmosféricos, escenario evidente en la Figura 11 donde los mínimos registros de dióxido de carbono en los modelos antiguos tanto a velocidad ralentí como a velocidad crucero indican deficiencias en el funcionamiento interno del motor, lo que se produce debido a que las tecnologías de combustión implementadas en los microbuses anticuados a base de carburador, son tecnologías obsoletas, que generan una mezcla de combustible y aire muy pobre, lo que deriva en mayores porcentajes de emisión de contaminantes en sus vías de escape.

Emisión de monóxido de carbono en microbuses

La situación del monóxido de carbono para el año 2014 es la más destacada partiendo de la matriz de selección de escenarios por criterios, puesto que presenta claramente el aumento de las emisiones en los modelos más antiguos (Figura 12).

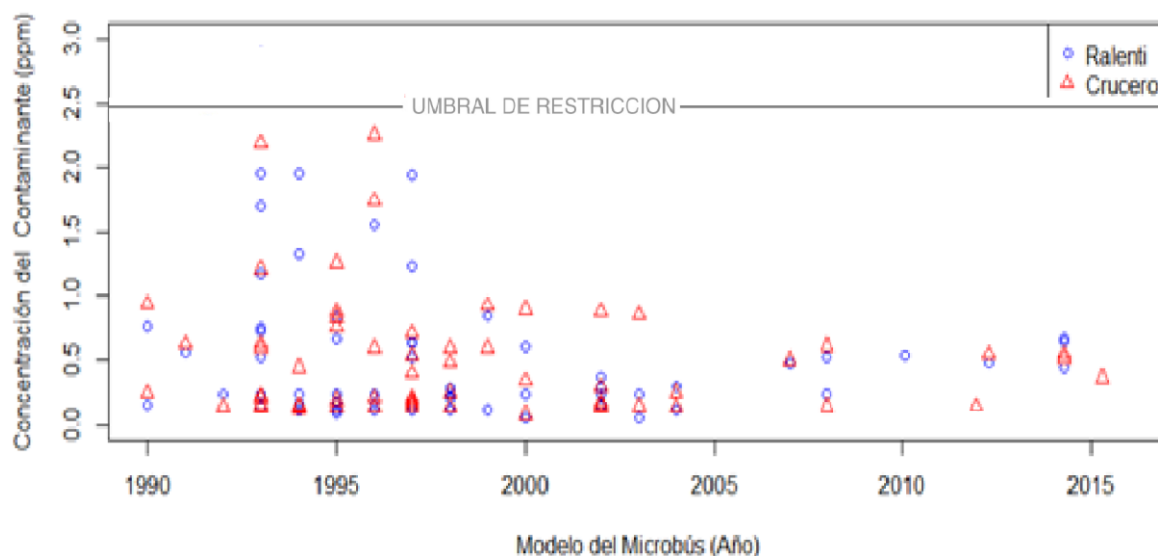


Figura 11 Relación de monóxido de carbono/ modelo vehicular (año 2014), Adaptado: Iván Duarte, 2018.

La relación entre la antigüedad de los microbuses con respecto a la emisión de monóxido de carbono representada en la Figura 12, presenta resultados similares a las relaciones en términos de opacidad, con el paso de los años los vehículos aumentan su porcentaje de emisión; el análisis complementario de la emisión de monóxido de carbono (CO) en los microbuses a base de gasolina indica que los vehículos antiguos logran una combustión interna incompleta puesto que no se consigue implementar la correcta cantidad de oxígeno en la mezcla de combustión tanto para la velocidad ralentí como a velocidad crucero, por otra parte los microbuses actualizados, logran una combustión completa debido a que la tecnología a inyección de los microbuses modernos asegura el complemento adecuado entre el oxígeno y el combustible, lo que produce una menor emisión de monóxido de carbono en los microbuses.

Emisión de hidrocarburos en microbuses

En el año 2014 también se evidencia el escenario más relevante para la emisión de hidrocarburos, puesto que independientemente del modelo, la emisión de los contaminantes es uniforme en las dos velocidades medidas pero los modelos más viejos son los que resultan más contaminantes en comparación con los modelos actualizados (Figura 13).

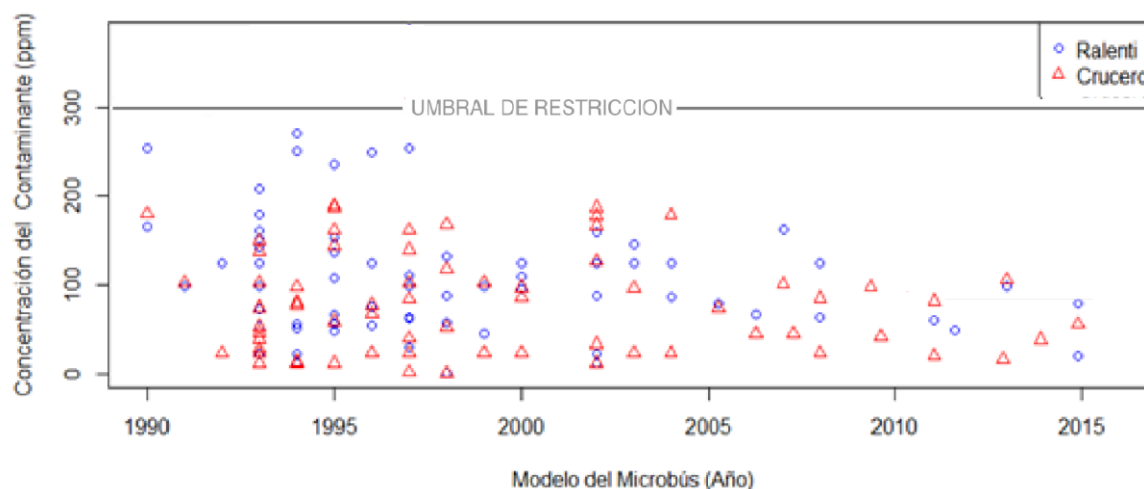


Figura 12 Relación de HC/ modelo vehicular (año 2014), Adaptado: Iván Duarte, 2018.

La lectura de los hidrocarburos (HC) encontrada en estudio, grafica las partículas de combustible que no logran realizar el proceso de combustión, el caso específico de los microbuses antiguos indica retrasos tecnológicos nuevamente, ya que la tendencia de hidrocarburos no quemados aumenta según los microbuses son más antiguos (Figura13) lo que indica exceso de combustible y falta de oxígeno en la mezcla; por el contrario los vehículos actualizados indican bajos niveles de hidrocarburos (HC) no quemados logrando la relación idónea entre el combustible y el oxígeno, aprovechando correctamente el suministro de combustible, lo que significa menor desperdicio de combustible, mayor potencia, consumo apto de combustible y mayor cantidad de kilómetros recorridos.

Emisión de contaminantes en velocidad Ralentí vs velocidad Crucero

La comparación de las emisiones generadas tanto en velocidad crucero como en velocidad ralentí se analizó mediante estadística descriptiva en un conjunto de datos, los resultados se encuentran representados en la Tabla 9.

Tabla 11 Análisis estadístico para vehículos a base de gasolina

análisis estadístico			
	Ralenti	Crucero	
n	49	49	cantidad total de datos
Media	9.46	2.97	media aritmetica
σ	1.42	1.03	desviación típica poblacional
δ	1.43	1.04	desviación típica muestral
$\sum x$	463.7	145.38	suma de los "n" datos
$\sum$	4486.67	483.118	suma de los cuadrados
Min	7	0.85	valor mínimo de los datos
Q_1	8.7	2.39	cuartil número uno
Mediana	9.5	2.87	mediana o cuartil número dos
Q_3	10.2	3.65	cuartil número tres
Max	12.3	5	valor máximo de los datos

Nota: Procesamiento estadístico para el análisis de emisiones de gases en vehículos que funcionan a base de gasolina regular, Adaptado: Iván Duarte, 2018.

Partiendo de la transcendencia de la comparación de resultados tanto de la media (6,49), como la desviación típica (0.39) es posible evidenciar que los motores tanto antiguos como novedosos presentan un mayor esfuerzo cuando están en funcionamiento, pero el vehículo se encuentra inmóvil (ralentí) que cuando se está en movimiento constante o también conocido como movimiento gobernado (crucero).

8.3. Fase III. Elaboración de iniciativas

Medida de circulación vehicular en hora pico y hora valle

Conocida la incidencia de la antigüedad del vehículo sobre sus emisiones atmosféricas en el caso específico de sistema de transporte público, se plantea la estrategia de servicio público en horarios picos y horarios valle, la cual inicialmente consiste en limitar el horario de circulación de los vehículos que se encuentran entre los 10 y 15 años de uso en un 50%, dividiendo el horario entre las horas que más se demanda el transporte público en la ciudad, que según estudios realizados en la ciudad de Bogotá son las horas entre las 6:00 A.M - 10:00 A.M y 5:00 P.M - 9:00 P.M; este horario supone la inmovilización de los vehículos antiguos durante siete horas de las 10:00 A.M hasta las 5:00 P.M horario al que se le podría denominar como el horario valle para vehículos antiguos. (SERTRAVI, 2017)

La reducción del tiempo de trabajo contemplada en el horario valle representa: disminución en las emisiones generadas por los vehículos más contaminantes (antiguos) del parque automotor y mayor flujo en las vías del casco urbano de la ciudad.

Como estrategia para sopesar la disminución de ingresos económicos de los vehículos entre 10 y 15 años de uso, se propone fijar y rotar las rutas más transitadas entre dichos vehículos; puesto que la reducción de sus horas de trabajo significa menores ingresos diarios. (SERTRAVI, 2017)

Luego de identificar los microbuses que se encuentran en el rango de uso entre 10 y 15 años; es necesario limitar dichos vehículos a las rutas más frecuentemente concurridas, entre las cuales se encuentran:

- Galán - Porfía
- Virrey - Charrascal
- Hospital - Coralina
- Covisan - Porfía
- Alcaldía – Catumare

Puesto que las rutas anteriormente citadas son las concurridas y demandadas por los ciudadanos lo cual se ve cuantificable en dinero; en promedio estas rutas trasladan 50 pasajeros por recorrido lo que significa 85000\$ colombianos por ruta, superando 120% las rutas menos concurridas, este

factor de recurrencia de usuarios en las rutas equilibra la pérdida de ingresos por limitar el tiempo de circulación en el casco urbano de los vehículos anticuados, mientras que los vehículos actualizados equipararían los ingresos realizando rutas menos concurridas pero teniendo la posibilidad de hacerlas una mayor cantidad de veces en el día, también prestando el servicio de transporte en las rutas concurridas en el horario valle, manteniendo el equilibrio de los ingresos económicos entre los conductores y empresas que prestan el servicio público de la ciudad. (SERTRAVI, 2017)

Adaptación de la flota vehicular con sistemas de control de emisiones

Es posible caracterizar las emisiones automotrices porcentualmente de la siguiente manera, los gases de escape en un 60%, las emisiones evaporativas de los depósitos de combustible 20% y 20% de los residuos de la combustión que escapan al interior del motor (SENA, 2011); se propone disminuir la salida de los gases contaminantes por medio de los siguientes sistemas de control de emisiones:

- Control de emisiones evaporativas

Este sistema de control, captura las emisiones de hidrocarburos durante el parqueo de los vehículos y los envía a un filtro de carbón activado (*Canister*) donde se almacenan mientras que el vehículo permanece estacionado. La implementación de este sistema se recomienda para vehículos a base de gasolina para recoger los valores de combustible del depósito, por otra parte en motores diésel no es muy efectivo debido a la alta temperatura de ebullición del combustible. (Dietsche & Klingebiel, 2005)

- Sistemas de recirculación parcial de los gases de escape

En este sistema se dirige una parte de los gases de escape nuevamente a la cámara de combustión para diluir la carga de admisión y reducir la temperatura de combustión, reduciendo las emisiones atmosféricas se recomienda su uso en motores diésel donde se puede complementar con los convertidores catalíticos de tres vías para el control de las emisiones de CO, HC y NO_x. (Sawyer, Harley, & Norbeck, 2000)

- **Insuflación de aire secundario**

La insuflación de aire secundario es un sistema conveniente para, en los vehículos con motor de gasolina, reducir las emisiones de HC y CO después del arranque del motor y calentar de forma rápida el catalizador, por lo tanto, conseguir una conversión rápida de emisiones de CO₂. (Dietsche & Klingebiel, 2005)

- **Convertidor catalítico**

Este es el sistema de control más común para reducir emisiones atmosféricas; se utilizan platino, radio y otros metales como sustratos en matrices cerámicas o metálicas para generar una superficie donde los contaminantes que existen en el flujo de gas reaccionan formando dióxido de carbono agua y nitrógeno (Lents, 2009); existen dos sistemas de control catalítico:

- El catalizador de 2 vías: el cual oxida el HC y CO en CO₂ y H₂O.
- El catalizador de 3 vías, que oxida el CO y HC en CO₂ y H₂O, y el NO en N₂ y O₂

- **Filtro de partículas**

Son filtros metálicos o cerámicos, que tienen como principal objetivo remover el material particulado desde el flujo de gas de escape. El filtro está formado por canales paralelos cerrados alternativamente, con la intención de que los gases de escape circulen a través de las paredes porosas del cuerpo filtrante. Las partículas sólidas se quedan en los poros al pasar. Según la porosidad del cuerpo filtrante, la eficiencia puede ser de hasta 97%. (Dietsche & Klingebiel, 2005)

- **Reducción catalítica selectiva**

Este sistema se utiliza para la reducción de emisiones de NO_x en fuentes fijas. Últimamente se ha aplicado en programas RETROFIT para fuentes móviles, reduciendo paralelamente las emisiones de NO_x, HC y PM, mediante un sistema similar al de los catalizadores oxidantes, con la diferencia de la adición de un agente reductor (amoníaco o urea) al flujo de emisión, el cual convierte NO_x en N₂ y O₂. En esta aplicación PM, NO_x y HC son convertidos en sustancias de bajo o nulo impacto ambiental. (CSIC, 2006)

Actualización de la flota vehicular que presta el servicio público

La actualización de la flota requiere de la inversión de fondos municipales en la implementación de nuevas unidades vehiculares que formen parte del servicio de transporte público de la ciudad, iniciando en primera medida con jornadas de identificación de obsolescencia vehicular, donde los vehículos pasen por una exhaustiva revisión que los catalogue entre vehículos útiles, vehículos de transición y vehículos obsoletos, donde la última clasificación signifique su extracción y remplazo de la flota vehicular.

Esta sugerencia garantiza un uso eficiente de los combustibles fósiles en el municipio además de prestar un servicio de transporte público a la vanguardia de la tecnología a los ciudadanos de Villavicencio, por otra parte aunque no está comprobado que la principal causa de las enfermedades respiratorias sean causadas por la exposición a las emisiones de los vehículos anticuados, se espera que mediante la actualización de la flota vehicular se reduzca significativamente la morbilidad por infecciones respiratorias agudas (IRA) del municipio, recuperando de esa manera la inversión inicial de la compra de nuevos vehículos.

Presentación de alternativas

Luego de generar sugerencias referentes a la gestión de mejoras del servicio público y la reducción de su carga contaminante, se dio pasó a la presentación de dichas recomendaciones a las autoridades competentes; verificables en el Anexo C, la respuesta positiva del secretario de movilidad Ivan Baquero incentivo el inicio del planteamiento de nuevos proyectos donde se implementan sistemas de control de contaminación atmosférica en vehículos del sector público, con el objetivo de analizar su eficiencia y su viabilidad económica. Es importante resaltar que el desarrollo del presente proyecto no solo incentivo sino que gestiono la unión entre entidades participantes en los futuros proyectos que garantizaran el desarrollo sostenible del recurso aire en el municipio.

9. discusión de resultados y recomendaciones

Es importante reconocer que los resultados y el análisis de los mismos permiten respaldar la hipótesis inicial en este estudio, sin embargo, también es muy valioso identificar las falencias que presentó el análisis, puesto que se espera que la metodología planteada en este proyecto se pueda reproducir para otros municipios.

Es importante resaltar que solo el análisis de una de las clases vehiculares (microbuses) permitió validar la hipótesis inicial, donde los microbuses de modelos de transición con el desgaste producido por el paso de los años aumentaban su porcentaje de opacidad; la principal falencia por la cual los buses y las busetas no presentaron resultados similares a los microbuses, radica en la uniformidad de la cantidad de unidades por modelo en las clases vehiculares; en aras de mejorar futuras reproducciones de esta metodología es necesario recomendar que en la recolección de información secundaria, el investigador no base su preocupación en la obtención de una muestra representativa de la población objetivo, sino que también recolecte la misma cantidad de vehículos de cada modelo para cada año de estudio, evitando de esa manera que en las relaciones no sea posible identificar claramente el aumento anual por modelo, como para este estudio en la clase buses fue evidente la falta de registros de vehículos de modelos entre 2000 y 2008, de igual manera para la clase busetas fue notoria la ausencia de los modelos anticuados en la relación estadística.

Por otra parte, la principal falencia del presente estudio, es decir la falta de uniformidad en la cantidad de unidades vehiculares de los diferentes modelos que hicieron parte del estudio, se solventó positivamente incorporando al estudio análisis alternativos donde se da razón oportuna y pertinente al porqué de dicha falta de vehículos; por otra parte según la pertinencia y la cantidad de datos trabajados es posible clasificar la presente metodología de trabajo, como un proceso analítico alternativo, el cual responde eficientemente en el corto plazo a las falencias técnicas municipales en el tema de análisis de emisiones atmosféricas por fuentes móviles.

Evidentemente es necesario que esta metodología evolucione para su mejora. Por lo tanto se recomienda:

- Adicionar al estudio nuevas variables, las cuales permitan realizar un análisis mucho más robusto, variables como la tecnología específica del motor, el kilometraje recorrido por el vehículo o las reparaciones efectuadas sobre el mismo.
- Aplicar esta metodología sobre el total del parque automotor, integrando de manera generalizada la información de los CDA'S de la ciudad, para analizar en conjunto la variación de las fuentes móviles con respecto a su antigüedad.
- Partir de los resultados suministrados por esta investigación para dar inicio a proyectos de implementación de sistemas de control de gases contaminantes en las fuentes móviles.
- A partir de los análisis de resultados es claro que la normatividad colombiana que restringe la circulación de los vehículos anticuados de hasta 20 años de vida útil, necesita de actualizaciones donde se limite en mayor medida mencionado umbral teniendo en cuenta que las unidades vehiculares pasados 15 años de uso registran fallas en su funcionamiento, que representan mayores porcentajes sus emisiones de contaminantes atmosféricos.
- Es necesario que se promuevan los estudios técnicos no solo a las fuentes móviles sino a las fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos en general, además de darle prioridades a las nuevas estrategias de manejo logístico de las fuentes, como las propuestas en este estudio, donde a partir de la equidad económica se logra reducir la contaminación del ambiente municipal.
- La educación ambiental es una de las soluciones, específicamente en este tipo de fuente es necesario inculcar a los conductores y usuarios del servicio de transporte público el uso de combustibles amigables con el medio ambiente que desde su composición utilicen el menor porcentaje posible de partes por millón de azufre, logrando disipar las emisiones de contaminantes atmosféricos.

Conclusiones

- En el proceso de solicitud de información se identificó como falencia en el municipio la falta de análisis históricos o actuales de la calidad del aire de Villavicencio, incluyendo también la ausencia de proyectos vinculados al análisis de las fuentes de contaminación municipal, estado de la calidad del aire o el monitoreo de la red de calidad del aire de la ciudad.
- El proceso de identificación y definición de variables afines al proyecto posibilitó que la información secundaria se enfocara específicamente en el desarrollo del objetivo general, lo que resulto conveniente y dio inicio al flujo correcto de trabajo para el proyecto, sin embargo también fue posible identificar vacíos en la información, la ausencia de estos datos limitó el análisis de emisiones en las busetas, por lo que debe realizarse nuevamente el proceso específicamente sobre dicha clase vehicular.
- Según el análisis del comportamiento de las emisiones de gases atmosféricos generados por los vehículos de uso público es notorio que el paso de los años ocasiona deterioro tanto estructural como funcional a los vehículos y que por tal motivo los motores más antiguos contaminan en mayor medida que los más actualizados, dado que su sistema de combustión interna sufre la carga del uso continuo diariamente en el paso de los años.
- La producción y presentación de alternativas de gestión para la reducción de la carga contaminante del servicio público, genero el compromiso inicial de las autoridades competentes al desarrollo de planes de implementación y estudio de sistemas de control de emisiones contaminantes en vehículos anticuados, dando prioridad a los microbuses, teniendo en cuenta que de acuerdo a los resultados es la clase vehicular que tiene más unidades anticuadas circulando en el casco urbano de la ciudad.
- Las entidades que están en la capacidad de soportar la veracidad de los datos analizados y el proceso estadístico que se efectuó implementando el software Rstudio son el CDA andino de Villavicencio y la secretaria de movilidad de Villavicencio, entidades con las cuales se llevaron a cabo diferentes eventos conjuntos, y se planea continuar trabajando mancomunadamente con la finalidad de aportar mayor trascendencia a la presente investigación.

Referencias bibliográficas

- Arbeláez, C. G. (2016). *El acuerdo de paris, así actuara Colombia frente al cambio climático*. Bogotá D.C.: WWF-Colombia.
- Ardila, J. (2017, diciembre 21). vergüenza por chimeneas dealbulantes que circulan por colombia. *Noticias caracol*.
- Ballesteros, H., & Aristizabal, G. (2012). *información técnica sobre gases de efecto invernadero y cambio climático*. BOGOTÁ D.C.: IDEAM.
- Bohorquez, B. V. (2013). *Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia*. Bogotá: universidad de los andes.
- Bosch. (2013). *Técnica de gases de escape para motores de gasolina*. Bogotá, Colombia.
- Camacho, & Guzman. (2009). *Propuesta para el diseño del plan de acción local para mejorar la calidad del aire en la ciudad de Villavicencio-Meta*. Bogotá: Universidad de La Salle.
- Castro, & Escobar. (2011). *estimación de las emisiones contaminantes por fuentes móviles a nivel nacional y formulación de lineamientos técnicos para el ajuste de las normas de emisión*. Bogotá: universidad de la Salle.
- Colombia. (2005). *Resolución 003500 por la cual se establecen las condiciones mínimas que deben cumplir los centros de diagnóstico automotor*. Colombia: Constitución nacional de Colombia.
- Colville, Hutchinson, & Mindell. (2001). *The transport sector as a source of air pollution*. New York City : Atmospheric Environment.
- Cooper, E., & Arioly, M. (2016). *emisión en las vías de escape de autobuses del servicio público*. México D.F.: EMBARQ.
- Cormacarena. (2017). *cormacarena cambiamos la cultura ambiental en el Meta* . Obtenido de http://www.cormacarena.gov.co/contenido-vin.php?tp=2&contenido_in=46&titulo=POLITICA

- CSIC. (2006). *Calidad de aire urbano, salud y tráfico rodado*. C. S. d. I. Cientificas (Ed.).
- Dietsche, & Klingebiel. (2005). *Manual de la técnica del automóvil*. Munich, Alemania .
- Dora, C., & Mudu, P. (2016). *transporte urbano sostenible*. Franckfurt Alemania: Organizacion Mundial de la salud OMS.
- Fearnside, P. M. (2015). *Instituto de recursos Greenhouse Gas Data and international climate policy*. washington DC: CAIT google public data.
- Figueredo Forero, E. (2008). *Resolucion 003500 por la cual se establecen las condiciones minimas que deben cumplir los centros de diagnostico automotor*. Colombia: Constitucion nacional de colombia.
- Forum. (2001). *The Continuous Improvement of Diesel Engine Emission Performance*. Holanda : Engineering Clean Air.
- Gracia, P. A. (2013). *Implementación del software estadístico Openair para el procesamiento y análisis de la información de la base de datos de la red de calidad de aire de Bogotá*. Bogota D.C.: Universidad Nacional recuperado de, <http://www.bdigital.unal.edu.co/39469/1/pedroalejandrogarciaavila.2013.pdf>
- IDEAM. (2016). *Documento Metodológico - Estadísticas de Monitoreo y Documento Metodológico - Estadísticas de Monitoreo y*. Bogota D.C.: instituto de meteorologia, hidrologia y estudios ambientales.
- IDEAM. (2016). *informe del estado de la calidad del aire en colombia 2011-2015*. Bogota D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Todos los derechos reservados. Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total o parcial debe ser autorizada por el IDEAM. Recuperado el 2017, de <http://www.ideam.gov.co/>
- K2, D. d. (2015). *diseño del sistema de vigilancia de la calidad del aire para el municipio de Villavicencio* . Villavicencio : Cormacarena.
- Kent, D., & Carslaw, A. (2009). *Analysis of air pollution in North Lincolnshire*, Institute for Transport Studies, University of Lee . Obtenido de

- http://www.nlincsair.info/documents/reports/128090223_NorthLincs_R_Project_Report.pdf .
- KENT, D., & CARSLAW, A. (2009). *Analysis of air pollution in North Lincolnshire*, Institute for Transport Studies, University of Lee . Obtenido de http://www.nlincsair.info/documents/reports/128090223_NorthLincs_R_Project_Report.pdf .
- LAUREN, S. (2010). Atmospheric Chemical Reactions. *ciencia direct*.
- Lents. (2009). *Handbook of Air Quality Management*.
- Londoño, C. P. (2012). *Estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles en el área urbana de envigado, Colombia*. Bogota: Universidad de la Salle, recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372011000200012
- Mateus, Y. A. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 "unidos podemos"*. Villavicencio Meta: consejo municipal de villavicencio .
- Max Frankel, J. F. (2015). *8 Interactive Graphics Answer Top Climate Change Questions*. londres : World Resources Institute .
- Meléndez, & Taylor. (2005). *Pruebas de emisiones realizados por la Autoridad de Tránsito del Área Metropolitana de Washington (WMATA) para autobuses de transporte público a gas natural y diésel*. Washington, DC. Washington, DC: Laboratorio Nacional de Energía Renovable, Innovación para el futuro de nuestra energía.
- Molina, G. (2010). *Estadísticos de asociación entre variables* . Valencia, España: recuperado, http://ocw.uv.es/ciencias-de-la-salud/pruebas-1/1-3/t_08-1.pdf
- Novoa, E., & Solano, G. (2016). *lenguaje de programación R aplicado al análisis de datos de calidad del aire*. Villavicencio, Colombia: Universidad Santo Tomas.
- Nylund, & Erkkilä. (2005). *Evaluación de emisiones de autobuses: Informe resumido de 2002–2004*. Finlandia : VTT, finlandia Recuperado el 2017 de

<https://wrirosscities.org/sites/default/files/Spanish-Exhaust-Emissions-Transit-Buses-EMBARQ.pdf>

OMS. (2015). *Organizacion Mundial de la salud* . Recuperado el 2017, de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>

Orellana, L. (2001). *estadistica descriptiva*. Bogota D.C.: unisabana.

Pineda, A., & Hernandez, A. (2016). *informe del estado de la calidad del aire en colombia 2011-2015*. Bogota D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Todos los derechos reservados. Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total o parcial debe ser autorizada por el IDEAM. Recuperado el 2017, de <http://www.ideam.gov.co/>

Rojas, A., & Rojas, N. (2015). *estimación de contaminantes provenientes de fuentes móviles en la jurisdicción CAR*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el abril 2017, de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/52666/7/AuraRojas.2015.pdf>

Sawyer, Harley, & Norbeck. (2000). *Mobile sources critical review*. Houston, EE. UU.: Atmospheric Environment, 34, 2161-2181.

SENA. (2011). *Gas Natural Comprimido Vehicular GNCV*. Bogota, Colombia : Publicación digital en la página web de la Biblioteca Luis Ángel Arango del Banco de la República.

SERTRAVI. (2017). *Categorizacion del parque automotor de Villavicencio Meta*. Villavicencio Meta.

SNIFFER. (2011, octubre 20). *PM 2.5*. Recuperado el abril 2017, de <http://www.dpea.scotland.gov.uk/Documents/qJ13291/J179732.pdf>.

Sniffer, K. (2011, octubre 20). *PM 2.5*. Recuperado el abril 2017, de <http://www.dpea.scotland.gov.uk/Documents/qJ13291/J179732.pdf>.

Toro, M., & Gonzales, M. (2016). *estudio de la dispersión de contaminantes atmosféricos en la jurisdicción de CORNARE*. Medellin, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.

Torres C, F. A. (2016). *alesrta en villavicencio por infecciones respiratorias* . *Periodico del Meta*, 08 de julio, 97.

ANEXOS

A. Solicitudes de información y respuestas oficiales por escrito entre las entidades participantes en el estudio.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
VILLAVICENCIO

Personería Jurídica Resolución No. 3645 del 6 de agosto de 1965

Villavicencio, 10 Marzo de 2017

Señor
HENRY GUERRERO
Gerente CDA Andino
Ciudad

Reciba un cordial saludo.

De manera formal, me permito presentar al estudiante **IVÁN RENE DUARTE HERNÁNDEZ**, identificado con cédula de ciudadanía N° .1012.422.953, código estudiantil 2150406, quien actualmente cursa Noveno Semestre en la Facultad de Ingeniería Ambiental. El estudiante actualmente se encuentra desarrollando la propuesta para su trabajo de grado, requisito establecido por el programa para optar al título de ingeniero ambiental. El proyecto del estudiante enfocado en temáticas de calidad de aire, requiere de información de la ciudad a este respecto.

Con base en lo anterior me permito poner a su consideración la posibilidad de brindar la información descrita a continuación:

- Registro de las mediciones de gases que se realizan en el Parque Automotor desde el inicio de las operaciones del CDA Andino
- Información sobre el tipo de combustible que utilice cada vehículo registrado
- Tipos de gases que se miden para cada vehículo

Cabe aclarar que esta información es para fines netamente académicos, necesarios para la elaboración del trabajo de grado y producción de un artículo de investigación del estudiante mencionado anteriormente.

De antemano agradezco su amable atención y por la consideración que sirva darse a la presente.

Cordialmente,


NATALIA MOSQUERA BELTRÁN
Decana Facultad de Ingeniería Ambiental
Universidad Santo Tomás
Sede Villavicencio

CENTRO DE DIAGNOSTICO
AUTOMOTOR
ANDINO
NIT. 900.211.372-5
E. Yari
14-03-2017



REVISIONES TÉCNICOMECAICAS Y EMISIONES CONTAMINANTES
SEGURIDAD Y SOLUCIÓN A LA CONTAMINACIÓN

**EL SUSCRITO SUB-GERENTE DE LA SOCIEDAD CENTRO DE
DIAGNOSTICO AUTOMOTOR ANDINO S.A.S.
NIT.: 900.211.372-5**

CERTIFICA QUE:

El estudiante Iván Rene Duarte identificado con el número de cedula 1012422953 de la ciudad de Bogotá perteneciente al programa de pregrado ingeniera ambiental de la universidad santo tomas Villavicencio, realizó su proyecto para optar al título de ingeniero ambiental en base a información secundaria suministrada por los procesos realizados en el centro de diagnóstico automotriz andino de la ciudad de Villavicencio meta.

La presente se expide a solicitud de la interesada hoy 17 de octubre de 2017.

Cordialmente,


MARY PATRICIA POLENTINO ROZO
SUB-GERENTE CDA ANDINO S.A.S.

Iván Rene Duarte Hernández

Cra 30A # 30 74 la vega | 3123934693 | ivanduearte@usantotomas.edu.co

06/03/2017

Brigitte Meza
Directora grupo aire urbano
Cormacarena Villavicencio Meta

RECIBIDO
CORRESPONDENCIA

Estimada ING. Brigitte Meza

Me dirijo a usted en calidad de representante del área de investigaciones de la universidad santo tomas seccional Villavicencio Meta, soy estudiante de noveno semestre de ingeniería ambiental identificado con el número de código 2150406 y cedula de ciudadanía 1012422953

La razón de este oficio es la petición formal de información sobre el estudio de calidad de aire realizado por la entidad en los años 2013 y 2014, únicamente en calidad de material base de investigación para la elaboración del estudio de calidad del aire del municipio, formulación de tesis de grado y producción de un artículo de investigación; la información necesaria para el estudio de investigación: los estudios de calidad de aire mencionados anterior mente(2013 y 2014) y proyectos relacionados con la calidad de aire del departamento que servirán como antecedentes teóricos para la elaboración del proyecto

Agradezco sobremanera su apoyo a nombre de mi departamento y universidad por brindar apoyo informativo en procesos de investigación, reiterando que la información se utilizara únicamente con fines educativos y de investigación; muchas gracias por su atención y su tiempo

Atentamente,



Iván Rene Duarte Hernández



CORPORACION PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL
AREA DE MANEJO ESPECIAL LA MACARENA
"CORMACARENA"



PM.GA. 3.17.1928

Al contestar cite el número completo
de este oficio

Villavicencio,

CORMACARENA DESPACHADA
003105 10MAR1715:15

Señor:
IVAN RENE DUARTE HERNANDEZ
ivanduearte@usantotomas.edu.co
Cra. 30ª N° 3C – 74 barrio la Vega
Teléfono: 312 393 4693
Ciudad

ASUNTO: Respuesta oficio con radicado N° 0004151 del 06 de marzo de 2017.

Cordial saludo,

Por medio de la presente me permito informarle que con respecto a la solicitud en el radicado en referencia CORMACARENA considera viable autorizar la expedición las copias con los resultados del monitoreo indicativo de calidad de aire realizado durante el año 2013 y el monitoreo con el cual se realizó el Diseño del Sistema de la Red de Vigilancia de Calidad de Aire de la ciudad de Villavicencio el cual se llevó a cabo durante el año 2014, conforme a lo anterior el usuario podrá a su costa obtener copia de dichos estudios para lo cual deberá acercarse a las instalaciones de la oficina principal de CORMACARENA ubicadas en la Cra 35 N° 25 – 57 en el barrio San Benito para lo pertinente.

De manera atenta,

ABG. ANDRÉS FELIPE BARNEY BERRIO
Asesor de Dirección

Proyectó: C. Martínez.
Revisó: Brigitte M. [firma]
Coordinadora Grupo Aire y Urbano



AUTORIDAD AMBIENTAL EN EL DEPARTAMENTO DEL META
Dirección: Carrera 35 N° 25-57 San Benito- Villavicencio (Meta) - Colombia
PBX- 6730420 FAX 6825731 Tels. : 673 0417/18/20/21
Pagina Web: www.cormacarena.gov.co





**CORPORACION PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL
AREA DE MANEJO ESPECIAL LA MACARENA
"CORMACARENA"**



PM.GA. 3.17.1862

Al contestar cite el número completo
de este oficio

Villavicencio,

CORMACARENA DESPACHADA
002926 08MAR'17 15:34

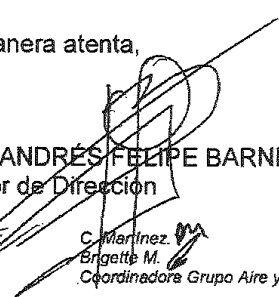
Señor:
IVAN RENE DUARTE HERNANDEZ
ivanduearte@usantotomas.edu.co
Ciudad

ASUNTO: Respuesta oficio con radicado N° 0003980 del 02 de marzo de 2017.

Cordial saludo,

Por medio de la presente me permito informarle que con respecto a la solicitud en el radicado en referencia CORMACARENA a la fecha cuenta con los resultados de un monitoreo indicativo de calidad de aire realizado durante el año 2013 en el cual se monitorearon la concentración de los contaminantes criterio PST, PM10, SO2, NO2, O3 y CO, así mismo durante el año 2014 se realizó el estudio de monitoreo de calidad de aire en el municipio de Villavicencio para establecer el diseño del Sistema de Vigilancia de Calidad de Aire y en tal sentido se monitorearon los contaminantes PM10, SO2, NO2, O3, conforme a lo anterior es pertinente aclarar que a la fecha no se tienen reportes ni históricos ni actuales de las concentraciones del contaminante CO2 generadas por el parque automotor en el municipio. Sin embargo el usuario podrá a su costa obtener copia de dichos estudios en aras de obtener información más detallada para lo cual deberá acercarse a las instalaciones de la oficina principal de CORMACARENA ubicadas en la Cra 35 N° 25 – 57 en el barrio San Benito.

De manera atenta,


ABG. ANDRÉS FELIPE BARNEY BERRIO
Asesor de Dirección

Proyecto: C. Martínez
Revisión: Brigitte M.
Coordinadora Grupo Aire y Urbano



AUTORIDAD AMBIENTAL EN EL DEPARTAMENTO DEL META
Dirección: Carrera 35 N° 25-57 San Benito- Villavicencio (Meta) - Colombia
PBX- 6730420 FAX 6825731 Tels. : 673 0417/18/20/21
Pagina Web: www.cormacarena.gov.co



Iván Rene Duarte Hernández

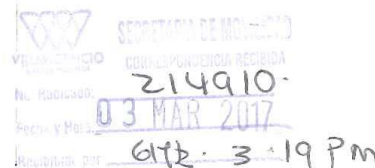
Cra 30A # 3C 74 la vega | 3123934693 | ivanduearte@usantotomas.edu.co

03/03/2017

IVAN HUMBERTO BAQUERO SUSA

Secretario de movilidad

Secretaria de movilidad de Villavicencio Meta



ESTIMADO IVAN HUMBERTO BAQUERO SUSA

Me dirijo a usted en calidad de representante del área de investigaciones de la universidad santo tomas seccional Villavicencio Meta, soy estudiante de noveno semestre de ingeniería ambiental identificado con el número de código 2150406 y cedula de ciudadanía 1012422953

La razón de este oficio es la petición formal de información sobre el parque automotor de Villavicencio Meta, únicamente en calidad de material base de investigación para la elaboración del estudio de calidad del aire del municipio, formulación de tesis de grado y producción de un artículo de investigación; la información necesaria para el estudio de investigación: es un registro temporal desde el inicio de operaciones de la secretaria de movilidad de cantidad de vehículos registrados en la ciudad de Villavicencio y su categorización, el porcentaje de crecimiento por año del parque automotor y la proyección estimada, de ser posible el tipo de combustible que utilice cada vehículo registrado; por ultimo información relacionada a los CDA oficiales en Villavicencio, información de cantidad, ubicación y antigüedad de cada uno

Agradezco sobremanera su apoyo a nombre de mi departamento y universidad por brindar apoyo informativo en procesos de investigación, reiterando que la información se utilizara únicamente con fines educativos y de investigación; muchas gracias por su atención y su tiempo

Atentamente,

Iván Rene Duarte Hernández

B. Identificación de la población muestral del estudio por medio de su placa vehicular

placas de los microbuses del servicio publico participantes en el estudio																		
1	SOD306	34	SOD625	67	UTY431	100	SPW832	133	BVL871	166	ZOD908	199	UZ0020	232	SPN509	265	VSA342	293
2	UTX334	35	SDH812	68	TFV764	101	UPN752	134	SSZ822	167	UTW581	200	EKD941	233	UTX520	266	CDP555	294
3	THL411	36	SVA644	69	SPT410	102	NSE094	135	BEF310	168	BAU972	201	UTY792	234	UPP456	267	FTB054	295
4	UTW848	37	SOJ505	70	SYT662	103	LKH038	136	OAH410	169	GD677	202	THX937	235	SRN319	268	EWI584	296
5	UFY114	38	SOD066	71	SJK616	104	MOQ3316	137	SWP449	170	RGV503	203	ZIF671	236	SNA330	269	SRO469	297
6	UTX926	39	SOD207	72	UTW183	105	SVC614	138	SMA234	171	SZW179	204	UPN422	237	ANI759	270	SMA803	298
7	UTX494	40	SOD681	73	UFV900	106	SNQ363	139	UTW140	172	SNA241	205	WXXG167	238	ZIE919	271	EWG286	299
8	XGC706	41	UTY046	74	TFW383	107	QPY143	140	SNH530	173	XID755	206	WTH248	239	SLF633	272	SVJ259	300
9	UTV452	42	UTW215	75	SOD623	108	XWJ448	141	JOA490	174	SKP337	207	JAI108	240	DYG355	273	GCK316	301
10	UTX372	43	SOE846	76	UTX523	109	DBR660	142	TAP890	175	SKP345	208	AFK667	241	TKB363	274	SMP605	302
11	SFA673	44	UTW195	77	SJK617	110	XVK211	143	SLJ5000	176	SKP346	209	UPP214	242	SJK688	275	EVA909	303
12	UTW481	45	SFC785	78	SZV780	111	CZC512	144	TLF279	177	SXZ701	210	XVV989	243	DCH546	276	UPN497	304
13	UTV022	46	UTW184	79	SJK618	112	SYU541	145	SZ1994	178	SPU737	211	MOV398	244	WLI020	277	XAC532	305
14	UTW379	47	SOD621	80	UTW271	113	UFZ200	146	DYN083	179	SKP339	212	UPN378	245	SZ1556	278	SJQ636	306
15	UTW768	48	UFW334	81	UTW682	114	SSW704	147	SLH791	180	SCI245	213	SVB171	246	SLG051	279	SLG014	307
16	UUD612	49	SOD352	82	UTX830	115	SZO221	148	GMAK809	181	FSJ806	214	UTV383	247	THL282	280	SOI446	308
17	UTX179	50	UTX663	83	THK714	116	SJQ747	149	AID451	182	SXV592	215	SSZ825	248	XHU763	281	JKD622	309
18	UTW794	51	UTX970	84	UTY064	117	KBO924	150	SOQ594	183	OBBI710	216	SVB256	249	SKF173	282	SXV196	310
19	UTW187	52	SOF273	85	UTW177	118	SKN084	151	SLQ247	184	FUA119	217	SJQ739	250	SSZ387	283	THK604	311
20	THK719	53	UTW504	86	SOE845	119	SKP954	152	NMA516	185	SRJ197	218	GCF698	251	NEC447	284	SBK493	312
21	SWE922	54	SOA065	87	SFN380	120	UTV496	153	XFJ088	186	SVM229	219	SRO733	252	XFA808	285	USD604	313
22	UTX403	55	SUC773	88	UTW676	121	SLJH943	154	UTV775	187	SPI498	220	SPT354	253	SOQ621	286	ZIT961	314
23	UTY569	56	THK704	89	UTU860	122	BZQ399	155	RDO765	188	SVM227	221	WWE239	254	EKH033	287	LLG228	315
24	UTW584	57	UTV520	90	SVC151	123	KUN866	156	XIA089	189	SVM228	222	SML970	255	RTJ640	288	JAB808	316
25	UTW201	58	SQL790	91	SOC967	124	TFR754	157	UFZ477	190	VNA179	223	SMY825	256	UTX715	289	FTL024	317
26	UTZ826	59	SVB144	92	UZN120	125	UPN468	158	CHT417	191	HUA037	224	XVJ053	257	NPE519	290	JFE317	318
27	SOD262	60	SXZ222	93	UPR244	126	AEB652	159	SKV210	192	KGH317	225	ZIS709	258	SRN179	291	AFE532	319
28	THK894	61	SYT057	94	UTW509	127	WZC240	160	UFZ185	193	VEM042	226	CHM899	259	SPV521	292	SPS742	320
29	UTW619	62	UTV547	95	XIA292	128	SBV436	161	SKO413	194	WTC103	227	PKF690	260	UPC430	293	UFV599	321
30	TFW357	63	TAY683	96	SRL282	129	UFY187	162	UFF568	195	T7777	228	ZOD299	261	UTY899	294	FUL094	322
31	UTW690	64	UTY022	97	UTX770	130	QFX208	163	GKJ950	196	XIC036	229	SJO632	262	THL208	295	SYK160	323
32	UTV932	65	UTV953	98	DXZ244	131	XUJ631	164	TPU522	197	SKP317	230	FBA831	263	THL274	296	SLP084	324
33	UTX575	66	SVC416	99	SMP534	132	XAA655	165	ALA974	198	SXU883	231	ROA363	264	XIK1420	297	UFX196	325

TAV654	332	SYT966	336	UFZ233	330	TFR757	434	AUN892	468	SVE656	502	SYJ609	536	GMB950	570	SXT002	604
SKB345	333	STA172	337	SSZ821	301	TFR760	433	SBE724	469	THL259	503	SWQ280	537	UTV412	571	SWM554	605
SQ1540	334	DYR694	346	SOE120	402	XID490	436	SRE726	470	SXR645	504	SJR686	538	T9277	572	ATI939	606
WLB556	335	TFV828	359	THR650	403	SOT038	437	SMP242	471	SVT595	505	ISE052	539	T9259	573	UFI096	607
SBR560	336	UVT354	370	SZU376	404	TGN387	438	UTW253	472	SZZ386	506	STO373	540	T9274	574	SVF818	608
DXV757	337	DAP975	371	TFR750	405	THL014	439	SWM505	473	V3J059	507	DMV948	541	T9294	575	SNI836	609
SZV761	338	CWK872	372	TFV197	406	GJK624	440	SRI678	474	SXS322	508	TRC248	542	T9258	576	UTV552	610
WZH477	339	PES111	373	UUD559	407	SXS218	441	UTY818	475	SRK307	509	UPQ302	543	TMA195	577	INE343	611
SRD104	340	BTF409	374	CZG765	408	UTY117	442	LVA818	476	SVB007	510	GCA543	544	SYK598	578	QFZ918	612
TGK353	341	TFQ271	375	SLH926	409	SWQ305	443	SVC950	477	SSY935	511	SKF832	545	SRP534	579	TGL189	
GPE146	342	UPN718	376	BYL838	410	BIZ944	444	SYQ892	478	SVJ199	512	JWA409	546	USE746	580	TBO436	681
SPP438	343	SND856	377	XNB045	411	SRE240	445	UFZ255	479	JVE671	513	SJQ741	547	VFA084	581	UTV551	682
THL308	344	TFU237	378	UTX587	412	SVC710	446	T7326	480	SKG740	514	TZY164	548	SWM474	582	UPN905	683
CYQ159	345	SWM811	379	ORJ804	413	SPT276	447	THL513	481	OMD208	515	SJQ749	549	T8096	583	SRI313	684
SXS956	346	THL345	380	UTV135	414	SLH991	448	AZNI24	482	UTX731	516	THL474	550	UTW425	584	SRL446	685
UPN453	347	XVP796	381	DXZ709	415	HUK846	449	UTW266	483	KUL840	517	WZH271	551	EVA958	585	SRI543	686
SOQ602	348	RAZ127	382	UFZ305	416	SSW014	450	SON370	484	CHL614	518	FSB171	552	SS1839	586	TBBD888	687
UTW272	349	TFR584	383	UTY135	417	SON321	451	APA163	485	X0071	519	SRL622	553	SUC575	587	SGI952	688
TFU245	350	SWM778	384	UTX990	418	SPT125	452	BOC021	486	SPM451	520	UPJ392	554	UPN690	588	GPC929	689
DCV473	351	SKX629	385	UTW593	419	TBL319	453	SVT053	487	UPN505	521	SWA660	555	SVJ144	589	T0604	690
UTX310	352	SNB427	386	TFR756	420	SWL689	454	INIL38	488	VMI900	522	QWC021	556	UYV436	590	SMK987	691
UTY107	353	UPX681	387	SSI213	421	SVV465	455	TRE795	489	XMC319	523	SKZ594	557	UPN562	591	SRI573	692
SPX172	354	OLA658	388	UTV548	422	UTW167	456	SKA431	490	SZZ301	524	SYU842	558	SJQ228	592	THY579	693
TFR752	355	SON384	389	UTX843	423	RBR506	457	GCD842	491	CSA773	525	DCX842	559	SZW301	593	SAA963	694
CDO788	356	SQM108	390	SJQ694	424	SPM499	458	SKM682	492	SVB160	526	VOJ401	560	SRP545	594	SRI544	695
SRCS70	357	SZT222	391	QTT137	425	TCK354	459	VXJ918	493	XJA869	527	SMZ333	561	UPN501	595	SZL661	696
SOA037	358	TAU781	392	SKK552	426	UPZ985	460	SPV327	494	UFW828	528	SQI857	562	XUE031	596	SZQ232	697
UUD707	359	SVB289	393	SKZ959	427	SPX140	461	STA155	495	T0504	529	SRI476	563	BEP248	597	SPN770	698
ABN733	360	TFR755	394	SZU345	428	SKJ803	462	UFZ410	496	CJ499	530	UPO250	564	PSI843	598	REF779	699
SSZ246	361	STA685	395	SOQ699	429	XGJ194	463	KGE309	497	BSP700	531	SLH907	565	TTY867	599	SSZ665	700
SVDO034	362	SXU915	396	SPV526	430	ACJ131	464	SLH868	498	VEB167	532	ZOG448	566	TFR751	600	TDK531	701
SOP287	363	QFZ445	397	DXW960	431	BGW202	465	SMH966	499	GPT977	533	ZOG444	567	CRB407	601	THL538	702
SPV762	364	THK758	398	SOQ520	432	BOZ880	466	SKP314	500	TFW528	534	SRN562	568	SPN667	602	EKU571	703
TTX755	365	BTC053	399	SZT969	433	OOA695	467	SZT632	501	FCC586	535	UPN459	569	DXX566	603	XVO974	704

UTV019	612	510410	622	SNA017	631	BIX905	648	SNA463	649	BPL265	658	SWP765	667	SIO623	676	CUQ298	900
IBK078	614	SZO219	623	AEB724	632	LEI481	643	XLD597	650	RAT620	659	SVK330	668	SVC230	677	UPN589	903
UPN508	615	T9383	624	REX868	633	JAE501	642	SX5656	651	PSD333	660	SNF943	669	UPX232	678	UPN500	902
LDG763	616	SPN977	625	ACI491	634	OAA088	643	SNG946	652	SOE834	661	ETU766	670	B55203	679	COH154	904
SKZ484	617	T8503	626	SXV546	635	SE922	644	STO472	653	TFI815	662	CXN129	671	LD869	680	SCH738	904
SZNG28	618	UPR014	627	THL062	636	SNB637	645	UTX690	654	MQM846	663	OUC003	672	SMP586	681	AHE260	905
UTV263	619	TM1663	628	CYM293	637	USB113	646	SXZ191	655	SKP009	664	UPY921	673	AHJ465	682	XMC518	906
XIA942	620	UTX860	629	TDL971	638	UFZ049	647	SWE965	656	THL002	665	ACJ370	674	UFW827	683	SRA240	907
OWI362	621	SWB195	630	OGA066	639	SRD276	648	SWE983	657	UPO005	666	ICB327	675	SBC539			909
placas de las Busetas del servicio publico participantes en el estudio																	
XAA845	708	SPM493	707	TMX631	706	IXJ266	730	UTW643	804	MBSG169	828	OKA278	853	SVA645	876	XVJ335	910
SUJ055	709	DCV421	708	T9073	707	SBJ283	731	SJK685	805	T6463	829	TFK235	854	SMK994	877	TFW143	911
SVB296	710	SPV517	709	SNK851	708	LEE389	732	WLB238	806	T7448	830	TFV692	855	UPN519	878	UFW826	912
TSM522	711	SZU569	710	RES259	709	GMA702	733	SNH361	807	OFZ888	831	SVB588	856	UTX952	879	SRL827	913
XAJ375	712	SFT219	711	TFV726	710	DYK498	734	SKA247	808	UTX191	832	SVC978	857	UTX908	880	BFG235	914
TFW410	713	SVC792	712	SZY525	711	SXB802	735	SWJ389	809	SZU454	833	XVO668	858	UTZ588	881	VSC251	915
ART888	714	UTV550	713	SKA612	712	UTW820	736	LME404	810	SKB706	834	XU806	859	SZU115	882	UTX747	916
UPN896	715	DYK199	714	SPV525	713	ZIC807	737	HBC697	811	XVX692	835	TFV975	860	UFZ790	883	TFW142	917
MAA017	716	SK1913	715	SLE898	714	SKH504	738	FFK814	812	SWA673	836	OHJ116	861	SZX739	884	UPX247	918
DCK647	717	CVE867	716	TFP563	715	UHP684	739	WXC099	813	SVA693	837	UFZ758	862	SZT254	885	SPX007	919
SPX663	718	USC261	717	SPN903	716	T9285	740	SNJ109	814	SPL194	838	ELB032	863	SOA241	886	VEZ343	920
UDL862	719	SWM277	718	SKK926	717	THL157	741	UTX057	815	WZC167	839	UTX137	864	GLB281	887	SVC730	921
UYG720	720	UUD525	719	THL396	718	T9304	742	FOR476	816	WHF361	840	UPQ789	865	UTX075	888	XVC746	922
CV1877	721	SRN593	720	JVE635	719	T9283	743	ATA060	817	SX3995	841	KCB499	866	CZS374	889	SZX730	923
UTV457	722	XVP794	721	SVL899	720	T9290	744	SRP260	818	VPA776	842	SVB831	867	TBK608	890	UTV290	924
UFZ228	723	CHG670	722	USC666	721	UTW832	745	SRP571	819	SAC208	843	SXVB740	868	VEV307	891	UTV562	925
UTW270	724	SZU085	723	AHE369	722	UTW206	746	SMO946	820	DYP725	844	SKH332	869	UTX992	892	UTV559	926
SNG631	725	CKS078	724	UTW692	723	SOC941	747	SVC403	821	SDI272	845	THL356	870	BBJ411	893	TFU0131	927
SOC911	726	ELB767	725	UTW696	724	SWM157	748	RZN906	822	SRC605	846	XVM563	871	TGM588	894	UTZ586	928
CJG778	727	TDZ741	726	BLH067	725	UTW412	749	SOD620	823	XAA338	847	SPW259	872	UFW874	895	UTY657	929
STO019	728	DYG291	727	UPN498	726	UTY784	750	AEB729	824	SLJ870	848	WVK134	873	SKF517	896	UTY914	930
SZN509	729	SXU856	728	UTW728	727	OOD031	751	OOA563	825	THK775	849	UUD713	874	FGB350	897	UPN355	931
UTW275	730	VZD414	729	SQ468	728	THK834	752	MBS966	826	TFW144	850	XVJ185	875	VES147	898	THL344	932
STO025	731	SOC774	730	BZK779	729	CZF968	753	SZT651	827	UFV201	851	THL340	876	UTX630	899	UPW458	933

RFL418	918	SS2320	936	SKO743	954	UPN547	972	SPM760	990	SMO729	1018	SMN520	1026	UTX888	1034	THI287
SXB568	919	SPN422	937	UTV414	955	THY907	973	SVD008	991	UFX292	1019	SX3553	1027	SOP302	1035	SPIU731
SX3327	920	TFW429	938	SPV683	956	TDK790	974	UPN587	992	STA009	1020	SOZ748	1028	UPN608	1036	UTW526
SPW899	921	TFR523	939	SQI502	957	THL561	975	SPM762	993	SS2999	1021	SZ379	1029	TAV222	1037	UPN592
UTY845	922	UPN496	940	UPO092	958	SPU418	976	SWP376	994	SWP229	1022	UPN603	1030	UTW575	1038	UTW948
SWE923	923	UPN879	941	SXV831	959	TFW621	977	UWL032	995	SXV965	1023	SZY146	1031	SPT577	1039	UTW397
UTV084	924	UPN644	942	SX5467	960	TFW553	978	UTV459	996	SRS183	1024	UPN582	1032	UID197	1040	SWP364
TDI039	925	SOL854	943	USE785	961	TFW371	979	UPO285	997	SXR101	1025	UPN584	1033	SVD119	1041	SWP342
SKZ420	926	SPU304	944	SPN568	962	SPO122	980	UPN660	998	SWQ386	1026	TSR460	1034	UTZ819	1042	STO180
UTX348	927	TDK967	945	SND217	963	THL431	981	TD5959	999	SPW028	1027	SPW631	1035	UTW562	1043	UTW341
UID241	928	SXV833	946	THL591	964	SPM369	982	UPN573	1000	UPN4601	1028	XVO640	1036	UTW826	1044	UTW724
PU0297	929	SMN132	947	TLN600	965	TFW497	983	UTW322	1001	UPH4593	1029	SWP316	1037	UTX177	1045	UTY676
UTX953	930	TFN603	948	UTV085	966	UPN399	984	SMN471	1002	TDK804	1030	UPN574	1038	UFZ399	1046	UTW488
SXU663	931	UPW542	949	SRL904	967	SRLM43	985	TGN213	1003	UPN854	1031	SRN646	1039	UPN842	1047	USB955
UPO253	932	SQO159	950	SSH969	968	SZU280	986	TGR043	1004	TSX415	1032	UTW563	1040	UTX080		
SWQ390	933	UFZ851	951	SNB617	969	SZU713	987	SXS269	1005	TDK866	1033	UTX064	1041	SXR240		
SXK660	934	SZ1112	952	TSR517	970	SODX08	988	SPW660	1006	SPIU725	1034	UTW603	1042	UTW905		
SXK635	935	SXV832	953	UPR973	971	TFV987	989	SRR810	1007	SXV563	1035	UTV470	1043	UPX943		
pacas de los Buses del servicio público participantes en el estudio																
TFW646	1024	SWP333	1036	SYT055	1104	TSV868	1118	SMN916	1134	SWE456						
UTW501	1025	UTW944	1037	UTX820	1105	UTX795	1119	UTW746	1135	STA292						
UTW778	1026	UTW391	1038	UTW591	1106	UTV240	1120	UTX166	1136	SXZ516						
SPV172	1027	UTW548	1039	UTX570	1107	SXV320	1121	UTW634	1137	GPF767						
SUC363	1028	UTW551	1040	UID033	1108	UTX565	1122	CQO379								
UTV471	1029	SXV782	1041	UID134	1109	UTX362	1123	UTW633								
UTW404	1030	SSZ097	1042	UTV018	1110	UTV100	1124	SMO323								
UTW536	1031	UTX611	1043	UTX276	1111	SWP335	1125	UTY910								
SOE577	1032	UTX436	1044	SRL707	1112	UFZ289	1126	UTW672								
UTW904	1033	UTW535	1045	UTY441	1113	UTX844	1127	XFA760								
UTW448	1034	SVD220	1046	UPN581	1114	UTX851	1128	TGL077								
UTX916	1035	UTX221	1047	SSQ228	1115	UTY386	1129	SXR825								
UTW889	1036	UTY241	1048	SSO190	1116	SPW457	1130	SYS769								
SPI212	1037	UTX567	1049	XAB383	1117	VIK406	1131	UTW395								
UTX984	1038	UTY701	1050	UTY085	1118	SRA260	1132	UTX146								

C. Presentación formal del proyecto y las iniciativas planteadas en el mismo ante las autoridades competentes

Iván Rene Duarte Hernández

Cra 30A # 3C 74 la vega | 3125592604 | ivanduarte@usantotomas.edu.co

27/10/2017

IVAN HUMBERTO BAQUERO SUSA

Secretario de movilidad

Secretaria de movilidad de Villavicencio Meta

288572
27 OCT 2017
Librado 9.17.17

ESTIMADO IVAN HUMBERTO BAQUERO SUSA

Me dirijo a usted en calidad de representante de la universidad santo tomas seccional Villavicencio Meta, soy estudiante de decimo semestre de ingeniería ambiental identificado con el número de código 2150406 y cedula de ciudadanía 1012422953.

La razón de este oficio es la petición formal de un espacio donde sea posible presentar de manera oral y/o escrita la tesis de opción de grado para optar al título de ingeniero ambiental: Análisis de las emisiones atmosféricas generadas por los vehículos de uso público en función de su antigüedad para el municipio de Villavicencio-Meta, identificada con el código IA-TG-2017-1-022 de la universidad santo tomas; pertinente teniendo en cuenta que los resultados de la investigación demuestran que el paso del tiempo deteriora las unidades vehiculares del servicio público tanto estructural como funcionalmente y mencionado deterioro se expresa en el aumento de las emisiones atmosféricas, por lo que se proponen iniciativas para el control de esta salencia ambiental, esperando prevenir problemáticas ambientales de mayor magnitud a mediano y largo plazo.

Agradezco sobremanera su apoyo a nombre de la universidad santo tomas por brindar apoyo y mostrar interés en procesos de investigación, es importante reiterar que este tipo de proyectos busca exclusivamente el desarrollo sostenible de los recursos naturales, por lo que merecen prioridad; finalmente agradezco su atención y el tiempo prestado.

Atentamente,

Iván Rene Duarte Hernández


1012422953 Bogotá D.C.