

**ESTIMACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR EL USO DE  
TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO CONVENCIONAL DESDE LA  
IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE METROLINEA, EN EL AREA  
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

**CAMILA PEÑA QUIROGA  
LAURA CAMILA PICO GUERRERO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2015**

**ESTIMACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR EL USO DE  
TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO CONVENCIONAL DESDE LA  
IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE METROLINEA, EN EL AREA  
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

**CAMILA PEÑA QUIROGA  
LAURA CAMILA PICO GUERRERO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:**

**INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR**

**LUIS DAVID ARÉVALO DURÁN**

**Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS**

**ESCUELA DE INGENIERA CIVIL**

**BUCARAMANGA**

**2015**

A mis padres Marlen Guerrero y Eduardo Pico por el apoyo incondicional, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles, y acompañarme a terminar esta etapa tan bonita de forma exitosa, por su paciencia y entendimiento, gracias por creer en mi y sobre todo gracias por tanto sacrificio y esfuerzo.

A mis familiares por el cariño y apoyo que me dieron durante todos estos años, y por regalarme tantas alegrías

A mi compañera y amiga de proyecto Camila Peña por toda la dedicación, empeño, y esfuerzo para poder culminar la investigación, y ser parte de mi proceso académico durante estos años, gracias por su amistad, este éxito es compartido con Camila.

**LAURA CAMILA PICO GUERRERO**

Agradezco a Dios, por permitirme desarrollar y culminar exitosamente cada etapa de mi vida.

A mis padres, Santos Peña y Flor Alba Quiroga, por ser mi ejemplo a seguir y la prueba de que todo se puede lograr con esfuerzo y dedicación. Por todo el amor que me brindan día a día y la confianza que han puesto en mí.

A Juliana y Santiago, mis hermanos, mis cómplices, mis más sinceros amigos, por su constante compañía y por enseñarme a ser mejor.

A John Villabona, por motivarme a luchar por mis sueños y su apoyo incondicional en el proceso de alcanzarlos.

A Música y Danzas Folclóricas UIS, por las grandes experiencias compartidas y ser un complemento en mi vida universitaria.

A mis amigos, por todos los momentos de felicidad; éstos son inolvidables.

A Laura Camila, mi compañera y amiga, por toda la disciplina y cariño que depositó en la realización de éste proyecto. Gracias por los años de amistad.

**CAMILA PEÑA QUIROGA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos manifestar nuestros más sinceros agradecimientos a quienes apoyaron, orientaron e hicieron parte de éste logro.

Al Ingeniero Luis David Arévalo Duran, Director de proyecto, por su continuo acompañamiento y apoyo durante todo nuestro proceso de aprendizaje y el desarrollo de esta investigación.

Al Ingeniero Yerly Fabián Martínez Estupiñán, Co-Director de proyecto, por su asesoría y orientación en los temas de investigación y el tiempo que dedico para poder atender nuestras inquietudes.

A la Universidad Industrial de Santander, por acogernos como estudiantes durante cinco valiosos años y haber contribuido a nuestra formación personal, ética y profesional. Nuestra más profunda gratitud.

## CONTENIDO

	Pág
<b>INTRODUCCIÓN</b>	18
<b>1. CASO DE ESTUDIO</b>	21
<b>2. MARCO TEORICO</b>	22
<b>2.1 CARÁCTERÍSTICA DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO (SITM)</b>	22
<b>2.2 INTEGRACIÓN DE LAS RUTAS DE TRANSPORTE PÚBLICO CONVENCIONAL AL SITM TRATAMIENDO DE LA INFORMACIÓN PROPORCIONADA</b>	23
<b>2.3 CARÁCTERÍSTICAS DE LA FLOTA VEHICULAR</b>	24
<b>2.4 REESTRUCTURACIÓN DE LAS RUTAS DEL TPC</b>	25
<b>2.5 NORMATIVA NACIONAL</b>	28
<b>2.6 NORMATIVA MUNICIPAL</b>	31

2.6.1	<b>Ibuca índice de calidad del aire para el área metropolitana de Bucaramanga</b>	31
3.	<b>APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA</b>	32
3.1	<b>CÁLCULO DE LA CONTAMINACIÓN TOTAL POR KILOMETRAJE RECORRIDO ANUAL</b>	32
3.1.1	<b>Consolidación de la información existente</b>	32
3.1.2	<b>Determinación de la capacidad (flota) y número de recorridos</b>	34
3.1.3	<b>Cálculo del kilometraje total recorrido por año</b>	40
3.1.4	<b>Factores de emisión contaminantes</b>	41
3.1.5	<b>Cálculo de la contaminación total por kilometraje recorrido</b>	43
3.2	<b>IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	43
3.2.1	<b>Emisiones en los vehículos</b>	44
3.2.2	<b>Motor de combustión interna</b>	44
3.2.2.1	<b>Combustión ideal</b>	45

3.2.2.2	<b>Combustión incompleta</b>	45
3.2.3	<b>Motor ciclo otto</b>	45
3.2.4	<b>Motor ciclo diesel</b>	46
3.2.4.1	<b>Ciclo de motor a combustión interna de 4 tiempos (dentro de los ciclos diésel)</b>	47
3.2.5	<b>Externalidades</b>	47
3.2.5.1	<b>Número de arrancadas</b>	48
3.2.5.2	<b>Emisiones en reposo</b>	48
3.2.6	<b>Mantenimiento</b>	48
3.2.6.1	<b>Importancia del sistema de escape</b>	48
3.2.6.2	<b>Lubricantes</b>	49
3.2.6.3	<b>Llantas</b>	50
3.2.6.4	<b>Refrigerante</b>	51

3.2.6.5	<b>Termostato</b>	51
3.2.6.6	<b>Batería</b>	52
3.2.7	<b>Revisión técnico mecánica y de gases</b>	52
3.2.7.1	<b>Norma técnica ntc colombiana 4231</b>	53
3.2.7.2	<b>Norma técnica ntc colombiana 4983</b>	53
4.	<b>RESULTADOS</b>	55
4.1	<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS RUTAS Y VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO Y SU RESULTADO EN LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL</b>	58
4.2	<b>COMPARACIÓN CON EL ESTUDIO DE BARRANQUILLA</b>	59
5.	<b>CONCLUSIONES</b>	62
	<b>BIBIOGRAFÍA</b>	65
	<b>ANEXOS</b>	69

## LISTA DE FIGURAS

	Pág
<b>Figura 1.</b> Operadores del SITM	24
<b>Figura 2.</b> Disminución del rendimiento del combustible con la edad	42
<b>Figura 3.</b> Ciclo hexano y ciclo propano	46
<b>Figura 4.</b> Factores de contaminación anuales por tipo de vehículo	57
<b>Figura 5.</b> Total de contaminación anual por tipo de vehículo	58

## LISTA DE TABLAS

	Pág
<b>Tabla 1.</b> Parque automotor, metas reducción de sobreoferta y cobertura en TPC	27
<b>Tabla 2.</b> Vehículos equivalentes	28
<b>Tabla 3.</b> Participación transporte público colectivo convencional	28
<b>Tabla 4.</b> Límites máximos permisibles para vehículos accionados con gasolina	30
<b>Tabla 5.</b> Límites máximos de opacidad permisibles para vehículos accionados con diésel ACPM	31
<b>Tabla 6.</b> Rutas autorizadas por empresa transportadora	33
<b>Tabla 7.</b> Flota por empresa año 2003 AMB	35
<b>Tabla 8.</b> Número de recorridos por día ordinario y festivo 2009	36
<b>Tabla 9.</b> Numero de recorridos por día ordinario y festivo 2011	37
<b>Tabla 10.</b> Flota por empresa año 2010 AMB	38
<b>Tabla 11.</b> Cantidad de rutas por fase de acuerdo a la demanda y a una relación lineal	39
<b>Tabla 12.</b> Coeficiente de consumo	42
<b>Tabla 13.</b> Contaminación total en gramos en el año 2009	55
<b>Tabla 14.</b> Contaminación total en gramos en el año 2010	55
<b>Tabla 15.</b> Contaminación total en gramos en el año 2011	56

<b>Tabla 16.</b>	Contaminación total en gramos en el año 2012	56
<b>Tabla 17.</b>	Contaminación total en gramos en el año 2013	56
<b>Tabla 18.</b>	Contaminación total en gramos en el año 2014	57
<b>Tabla 19.</b>	Comparación anual del comportamiento de las busetas entre Bucaramanga y Barranquilla	61

## LISTA DE ANEXOS

	Pág
<b>Anexo 1.</b> Factores para HC, MP2.5 y NO2 del Banco Mundial	69
<b>Anexo 2.</b> Factores calculados para SO2 y CO2 a partir de índices del Banco Mundial	72

## RESUMEN

**TITULO:** ESTIMACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR EL USO DE TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO CONVENCIONAL DESDE LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE METROLINEA, EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA\*

**AUTORES:** CAMILA PEÑA QUIROGA  
LAURA CAMILA PICO GUERRERO\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Calidad del Aire, Sistema integrado de transporte masivo, Factores de contaminación, emisiones contaminantes.

### DESCRIPCION:

Mediante datos suministrados por las diferentes empresas de transporte público colectivo convencional y el área metropolitana de Bucaramanga, se elabora un registro de datos aproximados a fin de estimar la contaminación generada por emisiones de hidrocarburos (THC), óxidos de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), partículas contaminantes (PM<sub>2.5</sub>), dióxidos de sulfuro (SO<sub>2</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), producto del uso de buses convencionales desde el 2010, año de inicio del sistema de transporte masivo METROLINEA, hasta el año 2014. Se hace una comparación con respecto a un escenario anterior a su implementación, año 2009, teniendo en cuenta los factores de contaminación establecidos por el Banco Mundial. Este proyecto de investigación tomó como parámetros de análisis la capacidad y kilómetros recorridos de las diferentes rutas que operaban en los años de estudio, donde se pudo evidenciar que la ciudad de Bucaramanga tiene una gran falencia en la organización y registro de información por parte de las empresas encargadas de las rutas metropolitanas; como consecuencia, la estimación de las emisiones que afectan la calidad del aire puede variar respecto a la realidad. Se identificaron los procesos operativos y de mantenimiento que los vehículos de transporte público deben cumplir de acuerdo con la normativa nacional, con el fin de dar algunas indicaciones del procedimiento que se debe llevar a cabo para garantizar que el funcionamiento de los buses, busetas y microbuses sea el más adecuado, reduciendo el impacto en el medio ambiente y la salud humana.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis David Arévalo Duarte

## ABSTRACT

**TITLE:** ESTIMATE OF ENVIRONMENTAL POLLUTION FROM USE OF CONVENTIONAL PUBLIC TRANSPORT SINCE METROLINEA SYSTEM IMPLEMENTATION IN BUCARAMANGA'S METROPOLITAN AREA \*

**AUTHORS:** CAMILA PEÑA QUIROGA  
LAURA CAMILA PICO GUERRERO \*\*

**KEY WORDS:** Air quality, Massive transport system, Polluting factors, Polluting emissions

**DESCRIPTION:** Through the data delivered by different public collective passenger transport companies and information supplied by the Bucaramanga metropolitan area, government entity, It was developed an approximate data register to estimate how much pollution is generated by hydrocarbon emissions (total hydrocarbons, THC), Nitrogen Oxide (NO<sub>2</sub>), polluting agent particles (Particulate Matter, PM 2.5), Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>) and Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>). These was generated by the use of conventional buses since 2010, starting year of the mass transit system METROLINEA, until 2014. A comparison between one year before and its implementation was made taking into account the factors of pollution set by the World Bank. This research project took as parameters of analysis the capacity and kilometres driven, distance road trip, which worked during different years of study. Nevertheless, Bucaramanga has a big flaw in the organization and recording data by the operator of the metropolitan routes; as a result, the estimation of emissions that affect air quality could vary from reality. Operational and maintenance processes that transport vehicles were identified, and these must comply in accordance with national law, in order to give some indication of the procedure that must be carried out to ensure that the operation of buses, minibuses and microbuses is suitable, reducing the impact on the environment and human health.

---

\* Degree Work

\*\* Faculty of Physical-Mechanicals Engineering. School of Civil Engineering. Director : Luis David Arévalo Duarte

## INTRODUCCIÓN

Los elevados índices de contaminación a nivel global, el agujero en la capa de ozono causado por la presencia de altas concentraciones de gases de efecto invernadero y la creciente tasa de enfermedades respiratorias, han encendido las alarmas a nivel mundial en cuanto a la problemática ambiental que se ha venido evidenciando desde hace varias décadas. Debido a esto, se ha motivado a las personas a adoptar comportamientos básicos de conciencia ambiental como reciclar y hacer uso inteligente del agua, pero estos no son suficientes si no se ejecutan cambios a gran escala en las principales fuentes de contaminación ambiental.

La calidad del aire y el control de las emisiones son temáticas que desde hace algunos años han generado alto grado de interés alrededor el mundo, debido a su gran impacto en la salud de los habitantes de una comunidad convirtiéndose en un problema de carácter social y ambiental. El desarrollo de las ciudades, el crecimiento desmesurado de la industria y el aumento del parque automotor han sido factores determinantes en el incremento de los índices de contaminación a nivel global, siendo las fuentes móviles las generadoras de las emisiones más peligrosas, causadas por implementación de tecnologías poco eficientes, uso de combustibles fósiles y mal estado de la flota vehicular.

Como consecuencia de la preocupación por reducir los índices de contaminación, se han firmado numerosos acuerdos a nivel mundial que buscan crear conciencia, además de un reglamento de acuerdo al control de las emisiones contaminantes.

En 1997, se firmó el Protocolo de Kyoto, el cual se considera como el primer paso importante hacia una política de reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonados, perfluorocarbonados y hexafluoruro de azufre) <sup>1</sup>. El primer periodo se cumplió en el año 2012 y se amplió hasta el 2015, año en el cual se espera que quede establecido un nuevo protocolo que vincule todos los países cuyo objetivo sea que la temperatura global no supere los 2 grados hasta el año 2020.

En los últimos años Bucaramanga ha experimentado importantes avances; se han ejecutado grandes obras de infraestructura vial, crecimiento de la industria y el comercio, incremento del parque automotor y sin lugar a dudas la implementación de un sistema integrado de transporte masivo ha generado un gran impacto en el ritmo de vida de todos sus habitantes por los cambios que este implica, especialmente por la restructuración de las rutas de transporte público, sin dejar de lado aspectos como la economía, la seguridad y el medio ambiente. La inclusión de un parque automotor más nuevo con vehículos que utilicen combustibles más amables con el medio ambiente deben reducir los índices de contaminantes por gases emitidos de los buses convencionales, generando un impacto beneficioso en la salud de los habitantes de la ciudad disminuyendo los gases de efecto invernadero<sup>2</sup>.

La CDMB (Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga) es el ente encargado de analizar y regular los índices de contaminación en el Área Metropolitana de Bucaramanga de acuerdo con la normativa vigente de calidad de

---

<sup>1</sup> NACIONES UNIDAS. Protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Kyoto, Japón. 1997. 22 p.

<sup>2</sup> MINISTERIO DE TRANSPORTE. DOCUMENTO CONPES 3552. Sistema integrado de transporte masivo para Bucaramanga y su área metropolitana. Seguimiento y modificación. DNP. Bogotá, Colombia. 2008. 13 p.

aire, dado que exponerse a altas concentraciones de estos compuestos es peligroso, provocando problemas a nivel cerebral, como déficit de memoria, atención, concentración y alteración del movimiento de tipo parkinsonismo, y con respecto al corazón, hipertensión arterial, aparición de arritmias y signos electrocardiográficos de isquemia<sup>3</sup>.

Por otro lado, se ha encontrado que las personas que padecen de asma son sensibles a los efectos de NO<sub>2</sub>; cerca del 70% de los asmáticos reaccionan ante concentraciones entre 90 y 560 µg/m<sup>3</sup> (0,05-0,3ppm) bastante inferiores respecto a las personas sanas, las cuales reaccionan a concentraciones mayores a 1880 µg/m<sup>3</sup> (1 ppm)<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> TÉLLEZ, Jairo, RODRÍGUEZ, Alba, FAJARDO, Álvaro. Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental. En: Revista de Salud Pública [en línea] Marzo 2006. [Citado en: 3 de Julio de 2015]. Disponible en internet: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42280110>

<sup>4</sup> CONSEJERÍA DE SANIDAD Y POLÍTICA SOCIAL DE LA REGIÓN DE MURCIA. Portal Sanitario de la región de Murcia. Dióxido de nitrógeno. Murcia. 2010. [Citado 11 Julio de 2015]. Disponible en internet: <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180252&idsec=1573>

## 1. CASO DE ESTUDIO

En la presente investigación se estiman los índices de contaminación generados por el uso de transporte público colectivo convencional, según los factores de emisión establecidos por el Banco Mundial, en el área metropolitana de Bucaramanga. Se estudian las emisiones de material particulado (MP), hidrocarburos (THC), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dióxido de sulfato (SO<sub>2</sub>)<sup>5</sup>, emitidas por buses de transporte público convencional a partir del año inmediatamente anterior al inicio de la operación del sistema de transporte público masivo Metrolínea, en el periodo comprendido entre el 2009 y 2014.

Se analiza este intervalo de tiempo con el objetivo de revisar el comportamiento de los buses y rutas de transporte público convencional, teniendo en cuenta que muchas de ellas fueron reemplazadas por las rutas de Metrolínea y algunos de los buses de las empresas convencionales de transporte tuvieron que ser desvinculados por no cumplir con los parámetros necesarios para circular en el área metropolitana.

---

<sup>5</sup>INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. The Benefits and Costs of bus Rapid Transit System and Mexico City. Final Report. México. 2008. 13 p.

## **2. MARCO TEÓRICO**

Debido a que el comportamiento de las rutas de transporte convencional dependió de la implementación del SITM, se hizo necesario conocer las características de operación del sistema.

### **2.1. CARÁCTERÍSTICA DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO (SITM)**

Bucaramanga es una ciudad que está en continuo crecimiento tanto a nivel poblacional como en infraestructura. Por ese motivo se decidió implementar un Plan de desarrollo (2002-2006)<sup>6</sup>, en el que se establecen algunos cambios en la movilidad de la ciudad y su área metropolitana. La propuesta fue poner en marcha un sistema integrado de transporte masivo tal como se estaba haciendo en diferentes ciudades colombianas, entre ellos Transmilenio en Bogotá, Mío en Cali, Transmetro en Barranquilla, Metroplus en Medellín y Transcaribe en Cartagena, generando beneficios en cuanto a la cobertura y frecuencias, lo que a su vez traería consigo un gran impacto en la ciudad y en el estilo de vida de todos los habitantes.

El objetivo principal de la implementación de un sistema masivo es “proyectar y mejorar la prestación del servicio público a partir de la ejecución de estrategias orientadas al control, seguimiento y evaluación del uso del sistema integrado de transporte masivo, con el fin de obtener una adecuada optimización de flota y frecuencias que le permitan al usuario un desplazamiento ágil, seguro, económico

---

<sup>6</sup> DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION. DOCUMENTO CONPES 3298. Sistema integrado de servicio público urbano de transporte masivo de pasajeros del área metropolitana de Bucaramanga. DNP. Bogotá D.C, Colombia. 2004. 2 p.

y eficiente”<sup>7</sup>. Metrolínea busca satisfacer las necesidades de transporte de los sectores de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta.

Por otro lado, dentro del planteamiento del SITM, se propuso que el combustible que debía usarse sería Euro 3 y Euro 4, caracterizados por producir menos emisiones contaminantes; sin embargo, de acuerdo con la auditoría realizada en Enero de 2012, se pudo evidenciar que los padrones, articulados y alimentadores de Metrolínea, no están trabajando con Euro 3 y Euro 4, y están siendo accionados con diésel, incumpliendo las especificaciones del fabricante<sup>8</sup>.

## **2.2. INTEGRACIÓN DE LAS RUTAS DE TRANSPORTE PÚBLICO CONVENCIONAL AL SITM**

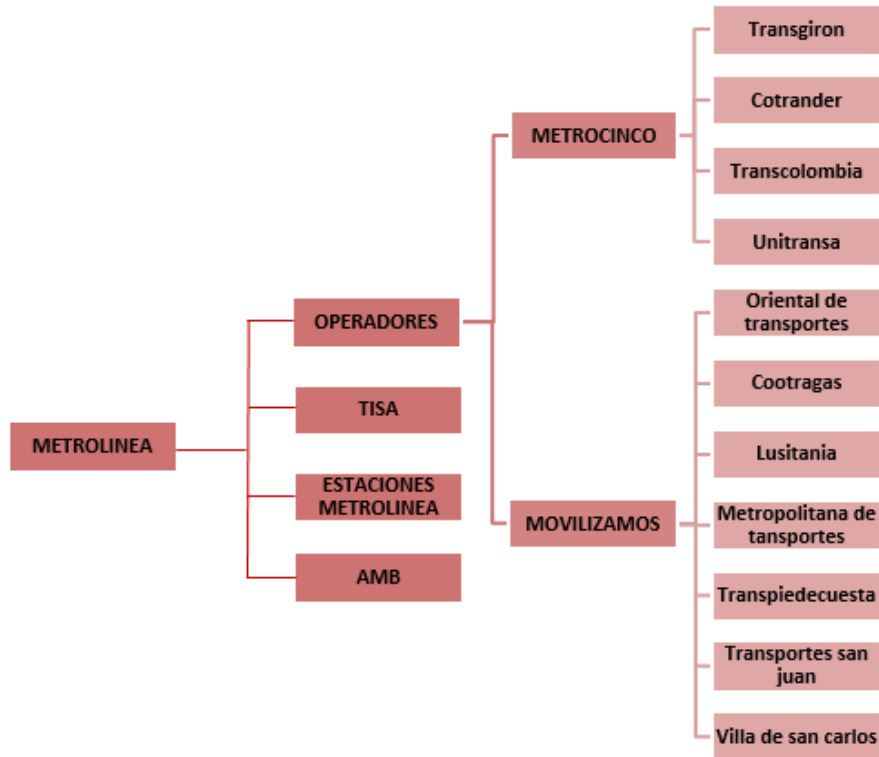
Los operadores del sistema integrado son el resultado de la unión de las empresas encargadas del servicio de transporte público convencional que a su vez son las responsables de prestar el servicio de transporte de pasajeros, donde su porcentaje de participación en la demanda de transporte público se divide con un 59% para Metro5Plus y un 49% para Movilizamos S.A. (ver grafica 1)

---

<sup>7</sup> METROLÍNEA. PLAN DE DESARROLLO 2013-2015. Sistema integrado de transporte masivo Metrolínea. Bucaramanga, Colombia. [Citado en: 4 de Julio de 2015] Disponible en internet: <http://184.107.200.58/documentos/38/70-101.6.1.F0.pdf> 3 p.

<sup>8</sup> CONTRALORÍA MUNICIPAL DE BUCARAMANGA. Informe de auditoría gubernamental con enfoque integral modalidad especial – Concesiones. Vigilancia fiscal y ambiental. Colombia. 2012. 35 p.

Figura 1. Operadores del SITM



### 2.3. CARÁCTERÍSTICAS DE LA FLOTA VEHICULAR

Metrolínea cuenta con un sistema de rutas a las cuales se asocian un determinado tipo de vehículo. Las rutas troncales son aquellas encargadas de movilizar volúmenes altos de pasajeros y cuentan con un carril exclusivo, por lo tanto se utilizan vehículos articulados que tienen una capacidad de 160 pasajeros; para las rutas pretroncales o auxiliares, encargadas de movilizar volúmenes medios de pasajeros, se emplean vehículos tipo padrón con capacidad de 90 pasajeros<sup>9</sup>; las rutas alimentadoras son las que distribuyen los pasajeros en los nodos de demanda ubicando a los usuarios en una estación, la cual los dirige a las rutas troncales; y finalmente las rutas complementarias son las que cubren zonas de

<sup>9</sup> DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. DOCUMENTO CONPES 3368. Política Nacional de Transporte Urbano y Masivo – Seguimiento”. DNP. Bogotá, Colombia. 2005. 22 p.

baja demanda donde circulan los buses convencionales, con al menos capacidad de 40 personas sentadas y 15 de pie, busetas con capacidad de 28 y de pie 15 y microbuses cuya máxima capacidad es de 19 pasajeros sentados<sup>10</sup>.

Los vehículos del transporte convencional deben cumplir con algunos requisitos y exigencias mínimas contempladas en el marco legal, referentes a la edad, configuración y seguridad para así poder transitar durante el desarrollo de las diferentes fases del Metrolínea<sup>11</sup>.

## **2.4. REESTRUCTURACIÓN DE LAS RUTAS DEL TPC**

El proyecto se dividió en 3 fases, iniciando la construcción de su primera fase en el año 2006.

Fase I: Inaugurada el 22 de diciembre del 2009 y en operación desde enero de 2010. Conectó a Bucaramanga con Floridablanca, vinculando los sectores de Cañaveral, Provenza, Centro y Carrera 27; se requirió de 15 buses articulados, 47 padrones y 69 alimentadores, desvinculando alrededor de 588 buses convencionales<sup>12</sup>. Los operadores conformados por 12 empresas transportadores

---

<sup>10</sup> COLOMBIA, SECRETARÍA GENERAL DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Decreto 715 (4, noviembre, 1994). Por el cual se promueve la reposición del parque automotor en vehículos clase, bus, buseta y microbús y se suspende transitoriamente su ingreso por incremento al servicio público de la ciudad. Bogotá D.C., 1994. [Citado en: 6 de Julio de 2015].  
Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1692>

<sup>11</sup> FUENTES. Hermes. Práctica empresarial asistencia técnica para el control de calidad en la interventoría realizada por ETA para la construcción del SITM de Bucaramanga-Metrolínea. Tesis de grado. Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), 2010. 33 p.

<sup>12</sup> REYES. Ana. Influencia de la implantación del sistema integrado de transporte masivo Metrolínea en los procesos de planeación local. Estudio de caso: fase 1 y 2 – Metrolínea en el área metropolitana de Bucaramanga. Periodo 2003- 2011. Tesis de grado. Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. 2013. 9 p.

y a su vez en pequeños propietarios eran responsables de 104 rutas metropolitanas.

Fase II: Inicia a funcionar el 9 de julio del 2012; se vincula al proyecto el municipio de Piedecuesta, el sector de Real de Minas y la Carrera 33. En esta fase se utilizaron 121 buses padrones y 34 buses alimentadores. Con esta intervención se esperaba desvincular a 734 autobuses que prestaban el servicio<sup>13</sup>.

En enero del 2013 se propuso en el Plan de Rodamiento que se asociaran las empresas transporte Transcolombia, Cotrander y Unitransa para mejorar su servicio unificando frecuencias e integrando su flota, rotando sus rutas cada 26 días, lo que a su vez generó que los usuarios tuvieran que adaptarse a la combinación de buses de diferentes empresas realizando los recorridos que generalmente realizaba una sola empresa.

Fase III: Esta fase del SITM aún no se encuentra en operación, pero cubrirá el sector del Norte de Bucaramanga y Girón, requiriendo 35 padrones y 27 alimentadores.

El sistema esperaba alcanzar una cobertura del 66% una vez la totalidad de las fases iniciaran su operación; por ello se tomaron medidas que garantizan la sostenibilidad del sistema, como reducir la sobreoferta del transporte público colectivo, suspender y modificar las rutas de buses convencionales disminuyendo a su vez su parque automotor de acuerdo con las necesidades del proyecto (ver tabla 1). En este caso las deducciones se realizan en tres fases, “en la primera, la

---

<sup>13</sup> Ibid. 9 p.

restricción del parque automotor tiene que estar por el orden de los 588 vehículos de los 1.675 establecidos como meta. A 28 de diciembre de 2009, habían desvinculado 167 vehículos del radio de acción metropolitano, cantidad que representa el cumplimiento del 10% de la meta comparada con el total de vehículos a eliminar, cifra que se incrementa al 28% si se compara con la meta específica para la fase I<sup>14</sup>.

Para la desvinculación de buses convencionales se debe tener en cuenta las equivalencias de acuerdo al tipo de vehículo que ingresa al sistema (ver tabla 2) de tal forma que la cobertura que se obtendrá después de la reducción será la de la tabla 3.

Tabla 1. Parque automotor, metas reducción de sobreoferta y cobertura en TPC.

Proyecto	Parque autom. actual	Sobreoferta	% reducc.	Unid. eliminadas	% avance frente a meta	Cobertura del SITM en el TPC
B/quilla	3427	1200	35%	0	0%	32%
Cartagena	1687	600	36%	0	0%	100%
B/manga	2131	1675	79%	167	10%	66%
Valle de Aburrá	7500	2326	31%	127	5%	60%
Pereira	1100	500	45%	415	83%	46%
Bogotá	21000	6679	32%	6761	1%	26%
Cali	4387	4100	93%	1772	43%	94%

Fuente UCP Min. Transporte a Dic 31/09 y reportes de autoridades de Transp. Incluye el Metro.

<sup>14</sup> CARRILLO, Gloria. Sistemas integrados de transporte masivo en Colombia: Avances, retos y perspectivas en el marco de la política nacional de transporte urbano. Contraloría General de la República. Colombia. 2010. 31 p.

Tabla 2. Vehículos equivalentes.

Número de unidades equivalentes a un articulado	6
Número de unidades equivalentes a un padrón	5
Número de unidades equivalentes a un alimentador	3,8

Fuente: Estudio de complementación y actualización del diseño operaciones del SITM Bucaramanga.

Tabla 3. Participación transporte público colectivo convencional

<b>FASES</b>	<b>IMPLEMENTACION DEL MASIVO</b>	<b>COBERTURA DEL TPC</b>
I	31%	69%
II	59%	41%
III	66%	34%

Fuente: Estudio de complementación y actualización del diseño operaciones del SITM Bucaramanga.

## 2.5. NORMATIVA NACIONAL

Debido a la importancia de mantener los índices de contaminación dentro de niveles apropiados y así contribuir con la disminución de emisiones de efecto

invernadero, Colombia cuenta con un código de protección y control de calidad del aire, y se reglamentan las niveles permisibles de emisión de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres a gasolina o diésel. De acuerdo con el decreto 948 de 1995, “una emisión es la descarga de una sustancia o elementos al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de éstos, proveniente de una fuente fija o móvil”<sup>15</sup>.

Paralelamente el decreto 2107 de 1995 define ciertos niveles de concentración de sustancias contaminantes presentes en el aire, con el fin de conservar la calidad del medio ambiente y la salud humana.<sup>16</sup>

- Nivel Normal (Nivel I): La concentración de sustancias contaminantes en el aire y su tiempo de exposición no son nocivos para la salud humana y medio ambiente.
- Nivel de prevención (Nivel II): La concentración de sustancias contaminantes en el aire y su tiempo de exposición pueden causar efectos leves en la salud humana, como alergias y enfermedades de tipo respiratorio, y en el medio ambiente efectos dañinos en la vegetación y disminución en la visibilidad.

---

<sup>15</sup> COLOMBIA. SECRETARÍA GENERAL DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Decreto 948 (5, Junio, 1995) Nivel Nacional, Reglamento de Protección y Control de la calidad del aire. Bogotá D.C. 1995. [Citada en: 11 Julio de 2015]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1479>

<sup>16</sup> COLOMBIA. SECRETARÍA GENERAL DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Decreto 2107 (30, noviembre, 1995) Nivel Nacional. Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995. Bogotá D.C. 1995. [Citada en: 13 Julio de 2015]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=7128>

- Nivel de alerta (Nivel III): La concentración de sustancias contaminantes en el aire y su tiempo de exposición, pueden provocar alteraciones en algunas funciones fisiológicas vitales, enfermedades crónicas y reducción de la expectativa de vida.
- Nivel de emergencia (Nivel IV): La concentración de sustancias contaminantes en el aire y su tiempo de exposición pueden ocasionar enfermedades graves o incluso, provocar la muerte en los seres humanos.
- Por otra parte, la resolución 910 de 2008 es la norma que reglamenta los niveles permisibles de emisiones contaminantes, dependiendo del modelo del vehículo y el combustible empleado.<sup>17</sup>

Tabla 4. Límites máximos permisibles para vehículos accionados con gasolina.

Año modelo	CO (%)	HC (ppm)
1970 y anterior	5	800
1971-1984	4	650
1985-1997	3	400
1998 y posterior	1	200

Fuente. Resolución 910 de 2008.

<sup>17</sup>COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 910 (5, Junio, 2008). Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones. Bogotá D.C. Colombia. 2008. [Citada en: 19 Julio de 2015]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=31146>

Tabla 5. Límites máximos de opacidad permisibles para vehículos accionados con diésel ACPM

<b>Año modelo</b>	<b>Opacidad (%)</b>
1970 y anterior	50
1971-1984	45
1985-1997	40
1998 y posterior	35

Fuente. Resolución 910 de 2008.

## **2.6. NORMATIVA MUNICIPAL**

La Corporación de Defensa de la Meseta del Bucaramanga, es la autoridad encargada de vigilar los índices de contaminación.

### **2.6.1. IBUCA Índice de calidad del aire para el Área Metropolitana de Bucaramanga**

El IBUCA es un indicador adimensional que permite establecer el estado de la calidad del aire en Bucaramanga en relación con los límites nacionales proporcionado por el Ministerio de ambiente, a los cuales se aplica un tratamiento para convertirlos a condiciones de presión y temperatura local. El comportamiento de la calidad del aire representado por el IBUCA está asociado directamente con el grado de afectación de la salud humana, y se clasifican en una escala de 0 a 10 dependiendo del grado de contaminación del aire, en donde de 0 a 1.25 es bueno, de 1.26 a 2.50 es moderado, de 2.51 a 7.50 es regular, de 7.51 a 10 es malo y mayor a 10 es peligroso<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> TORRES Carlos, BERMÚDEZ Elkin, BRAVO Paula. Informe anual de calidad de aire de Bucaramanga 2014. Coordinación de información e investigación ambiental. CDMB, Bucaramanga, Colombia. 2014. 14 p.

### **3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA**

De acuerdo con el documento “The Benefits and Costs of bus Rapid Transit System and Mexico City” del Instituto Nacional de Ecología y los indicadores de contaminantes establecidos por el Banco Mundial, se estima la contaminación ambiental por uso de transporte público colectivo en Bucaramanga y su área metropolitana desde al año 2009 hasta el año 2014, teniendo como parámetros indispensables el kilometraje recorrido por las rutas convencionales de las empresas de transporte, su respectiva flota y parque automotor. Es completamente necesario mencionar que debido a la poca organización de las empresas de transporte metropolitanas y la escasez de datos registrados por éstas, fue necesario hacer algunas aproximaciones basadas en documentos del Área Metropolitana de Bucaramanga, lo cual puede influir en los resultados obtenidos.

#### **3.1 CÁLCULO DE LA CONTAMINACIÓN TOTAL POR KILOMETRAJE RECORRIDO ANUAL**

Para estimar la contaminación ambiental generada por vehículos de transporte público convencional fue necesario recolectar ciertos datos por parte de las empresas transportadoras, hacer algunas consideraciones basadas en registros del AMB y aplicar conocimientos básicos del área de tránsito y transportes.

**3.1.1 Consolidación de la información existente** Inicialmente, en el año base (2009), antes de la implementación del SITM, se tenían 104 rutas metropolitanas, y 12 empresas eran las encargadas de su circulación en la ciudad (ver tabla 6).

Sin embargo, no fue posible encontrar datos sobre 2 rutas de Flotax, 1 ruta de Lusitania y 1 ruta de Unitransa. Por este motivo sólo se analizaron 100 rutas.

Tabla 6. Rutas autorizadas por empresa transportadora

<b>Empresa</b>	<b>Rutas Autorizadas</b>
Unitransa S.A	28
Transcolombia S.A	20
Cotrander LTDA	14
Transpiedecuesta S.A	9
Transgirón S.A	7
Oriental de Transportes S.A	9
Lusitania S.A	5
Metroservicios S.A	3
San Juan S.A	3
Villa de San Carlos S.A	2
Cootragas LTDA	2
Flotax	2
<b>Total</b>	<b>104</b>

Fuente: Estudio de complementación y actualización del diseño operaciones del SITM Bucaramanga.

Se visitaron las diferentes empresas de transporte convencional con el fin de obtener la información necesaria de las rutas que circulaban en el 2009, el kilometraje recorrido, capacidad, y tipo de vehículo.

No obstante, esta información se extrae en su mayoría de documentos del AMB, exceptuando a las empresas Cootragas y Oriental de transporte, las cuales si tenían dicha información sobre las rutas del año 2009.

### **3.1.2 Determinación de la capacidad (flota) y número de recorridos diarios**

Para calcular la capacidad fue necesario adoptar una frecuencia de despacho de 5 minutos (de acuerdo a datos históricos del AMB y el INTRA), teniendo en cuenta que un ciclo es el tiempo con el que cuenta una ruta para hacer el recorrido completo y satisfacer la demanda. Es decir, la capacidad es inversamente proporcional al intervalo o frecuencia de despacho.

$$\text{Fórmula 1} \quad \text{capacidad(flota)} = \frac{\text{ciclo (min)}}{\text{frecuencia(min)}}$$

Debido a la falta de información en algunas empresas sobre el tipo de vehículos que operaban en el 2009, se decide utilizar los dos tipos con mayor cantidad en el parque automotor de cada empresa (Tabla 7) y dividir su número de recorridos según horas pico y horas valle, asignando el vehículo con mayor capacidad a la hora pico, además de distribuir la flota 60% para hora pico y 40% para hora valle, teniendo en cuenta el comportamiento lógico de la demanda.

Tabla 7. Flota por empresa año 2003 AMB

<b>Empresa</b>	<b>Serv. Básico</b>	<b>Serv. Lujo</b>	<b>Serv. Ejecutivo</b>	<b>Total Veh.</b>
Unitransa S.A	493	-	18	511
Transcolombia S.A	303	-	14	317
Cotrander LTDA	230	-	18	248
Transpiedecuesta S.A	139	60	-	199
Transgirón S.A	110	-	23	133
Oriental de Transportes S.A	131	-	-	131
Lusitania S.A	-	117	-	117
Metroservicios S.A	63	-	-	63
San Juan S.A	-	55	-	55
Villa de San Carlos S.A	43	-	-	43
Cootragas LTDA	-	38	-	38
Flotax	12	42	-	54
<b>Total</b>	<b>1524</b>	<b>312</b>	<b>73</b>	<b>1909</b>

Fuente: Estudio de complementación y actualización del diseño operaciones del SITM Bucaramanga.

Para determinar el número de recorridos que realiza una ruta diariamente, se consideran los días ordinarios y los días festivos ya que la demanda de usuarios no es la misma; por lo tanto para el año en estudio se tomó 6 recorridos diarios para días ordinarios y para días festivos 5 recorridos al día (ver tabla 8). Para la

asignación de la flota a las rutas de las que no se tenía información oficial, se tomó el 60% de la flota para el tipo de vehículo 1 (el que circula en hora pico, es decir el de mayor capacidad) y el 40% restante para el tipo de vehículo 2 (el de menor capacidad que circula en horas valle), comportamiento asumido de acuerdo al compromiso interno de los transportadores de utilizar de manera óptima la flota y fundamentalmente a la carencia de estudios que determinara la oferta del servicio, mediante flota en la hora pico y en la hora valle.

Tabla 8. Número de recorridos por día ordinario y festivo 2009

Descripción	No.	Recorr/ día	Recorr/ mes	Recorr. Prom	Recorr. Mes
Ordinarios	20	6	120	29,36	3,523
Sábados	4	5	20	29,36	587
Domingos	2	5	10	29,36	294
<b>TOTALES</b>					<b>4404</b>

Fuente: Estudio de complementación y actualización del diseño operaciones del SITM Bucaramanga

El total de kilómetros recorridos diarios se calculó multiplicando la capacidad por el número de recorridos diarios por el kilometraje de un solo ciclo.

Fórmula 2. 
$$\text{Km diarios} = \text{capacidad} * \#\text{recorridos diarios} * \text{Km de un solo ciclo}$$

Para llevar a cabo el desarrollo de la primera fase, en enero de 2010, fueron necesarios algunos ajustes y reestructuración de rutas y frecuencias de despacho,

con la finalidad de combatir la sobreoferta de vehículos, dando lugar a las rutas complementarias, las cuales hacen parte del proceso de integración del nuevo sistema.

El proceso de cálculo se realizó de forma similar, sin embargo ante la necesidad de completar la información que no fue suministrada en su totalidad por las empresas, se decide utilizar datos brindados por el AMB. Para la fase I, a las rutas que no se conoce el número de ciclos diarios, se asigna en días ordinarios 5 recorridos al día, y en días festivos 4 recorridos al día (Tabla 9).

Tabla 9. Número de recorridos por día ordinario y festivo 2011

Descripción	No.	Recorr/ día	Recorr/ mes	Recorr. Prom	Recorr. Mes
Ordinarios	20	5	100	33,49	3,349
Sábados	4	4	16	33,49	536
Domingos	2	4	8	33,49	268
<b>TOTALES</b>					<b>4153</b>

Fuente: Estudio de complementación y actualización del diseño operaciones del SITM Bucaramanga

En cuanto a la distribución de la flota y asignación de tipo de vehículo se llevó a cabo el mismo proceso que para el año 2009; se seleccionaron los dos tipos de vehículos que predominaban en cada empresa (Tabla 10) y se repartió el 60% de la flota en el tipo de vehículo de mayor capacidad, para que transite en la hora pico, y el 40% restante en el tipo de vehículo de menor capacidad, para que circule en la hora valle.

Tabla 10. Flota por empresa año 2010 AMB

No	EMPRESA	2010		
		BUS	BUSETA	MICROBUS
1	COOTRAGAS CTA.	0	0	28
2	COTRANDER LTDA	1	166	1
3	LUSITANIA S.A.	1	0	86
4	METROPOLITANA DE SERVICIOS S.A.	5	33	0
5	ORIENTAL DE TRANSPORTES S.A.	7	83	0
6	TRANSCOLOMBIA S.A.	81	135	1
7	TRANSPORTES GIRON S.A.	8	86	0
8	TRANSPORTES PIEDECUESTA S.A.	8	123	45
9	TRANSPORTES SAN JUAN S.A.	0	0	57
10	TRANSPORTES VILLA DE SAN CARLOS S.A.	11	20	0
11	UNITRANSA S.A.	39	300	0
12	FLOTAX	0	0	0
<b>TOTAL</b>		<b>161</b>	<b>946</b>	<b>218</b>

Fuente: Estudio de complementación y actualización del diseño operaciones del SITM Bucaramanga.

Posteriormente se procede a calcular los kilómetros recorridos diarios totales tanto para bus, buseta y microbús utilizando la fórmula 2, tal como en el año anterior.

De acuerdo con el plan que se implementó para la disminución de rutas convencionales, se logra comprobar que la fase I respeta el mínimo y máximo número de rutas pronosticadas (Tabla 11), pues en el año 2009 existían 104 y con la implementación del sistema disminuyen a 62 rutas autorizadas.

Tabla 11. Cantidad de rutas por fase de acuerdo a la demanda y a una relación lineal

<b>FASES</b>	<b>NUMERO MIN RUTAS</b>	<b>NUMERO MAX RUTAS</b>
I	60	71
II	31	42
III	24	35

Fuente: Estudio de complementación y actualización del diseño operaciones del SITM Bucaramanga.

Finalizada la fase 1 se inicia la operación de la fase 2 en junio 9 del 2012. Para cumplir con la cobertura del 59% del sistema masivo de transporte nuevamente se elimina la sobreoferta, reduciendo la cantidad de rutas del transporte convencional, pasando de 62 rutas a 49 rutas metropolitanas (mas dos cuñas para un total de 51 rutas) lo que no está dentro del rango de las cantidad de rutas autorizadas a circular en la fase I (ver tabla 11). Para esta fase las empresas transportadoras suministraron casi la totalidad de la información necesaria para el presente estudio (capacidad o flota, tipo de vehículo y número de recorridos diarios ordinarios), excepto el número de recorridos en los días festivo. Se evaluó el comportamiento de las fases anteriores y se determinó que la disminución en

los números de recorridos los días festivos es de aproximadamente 20%. Se utilizó este valor para calcularlos. Enseguida se procedió a calcular el kilometraje diario recorrido por tipo de vehículo, aplicando la fórmula 2.

### **3.1.3 Cálculo del kilometraje total recorrido por año**

Con el objetivo de poder realizar una comparación coherente al final del estudio, se empiezan a analizar los datos de forma anual, sabiendo que el año base o de referencia antes del SITM es el 2009, la fase I comprende desde enero del año 2010 a junio del año 2012, y la fase II de Julio de 2012 hasta la actualidad; no obstante el presente estudio se realiza hasta el año 2014.

En busca de realizar un cálculo detallado y lo más cercano a la realidad posible, se tomaron los calendarios anuales, con el fin de realizar el siguiente procedimiento:

- Clasificar de acuerdo al tipo de vehículo (Bus/ buseta/ microbús)
- Se toma el número de días ordinarios de cada mes y se multiplica por el kilometraje diario recorrido ordinario de cada tipo de vehículo.
- Se toma el número de días festivos de cada mes y se multiplica por el kilometraje diario recorrido festivo de cada tipo de vehículo.
- Se suma el kilometraje total recorrido mensual ordinario y el kilometraje total recorrido festivo, obteniendo el kilometraje total recorrido mensual.

- Se hace la sumatoria de los kilómetros totales recorridos mensuales, obteniendo el TOTAL DE KILOMETROS RECORRIDOS ANUALES, discriminado por tipo de vehículo.

#### **3.1.4 Factores de emisión contaminantes**

Para la determinación de los contaminantes en el desarrollo de este proyecto, se tuvieron en cuenta los factores de emisión de contaminantes dados por el documento The Benefits and Costs of bus Rapid Transit System and Mexico City del Instituto Nacional de Ecología y el Banco Mundial.

Los índices de contaminación de hidrocarburos (THC), material particulado inferior a 2,5 micras (MP2,5) y dióxido de sulfuro (NO<sub>2</sub>) están dados en gramos por kilómetro (gr/km), siendo éstas las unidades apropiadas para el posterior cálculo. Están clasificados de acuerdo al año y tipo de vehículo, asumiendo que los buses son accionados con diesel (ACPM) y los microbuses operan con el uso de gasolina. Debido a que no se establecen índices para las emisiones de busetas, se utiliza un factor de equivalencia respecto a las emisiones de los buses. El asumido para las busetas es la mitad del factor de los buses, recomendado por el estudio del Instituto Nacional de Ecología.

Por otra parte, los factores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y dióxido de sulfuro (SO<sub>2</sub>), están en gr/kg, motivo por el cual se requirió de algunas conversiones para pasar a gr/km. Por esto fue necesario conocer las densidades de cada uno de los combustibles (diésel de 0,835kg/l y gasolina de 0,73 kg/l) y el coeficiente de consumo dependiendo del tipo de vehículo.

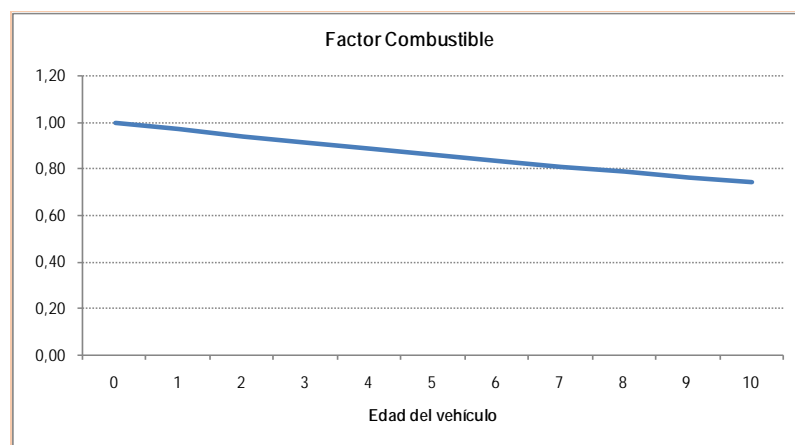
De acuerdo con el Manual de cálculo de tarifas del 2008, “se puede incluir un ajuste del coeficiente de consumo con respecto a la edad promedio del vehículo. Esto porque con el deterioro normal del motor se incrementa el consumo de combustible. El consumo de combustible cambia según la marca del motor y con los grados de exigencia de aspectos ambientales. La grafica 2 muestra la disminución del rendimiento del motor con la vida útil”<sup>19</sup>.

Tabla 12. Coeficiente de consumo.

Tipo Vehículo	Tipo Combustible	Unidad	Coeficiente
BUS105	Diesel	km/Gl	6
BUS80	Diesel	km/Gl	8
BUS60	Diesel	km/Gl	10
BUSETON	Diesel	km/Gl	14,5
BUSETA	Diesel	km/Gl	14,5
MICROBUS	Gasolina Corriente	km/Gl	20

Fuente. Manual de cálculo de tarifas 2008. DNP

Figura 2. Disminución del rendimiento del combustible con la edad.



Fuente. Manual de cálculo de tarifas 2008. DNP

<sup>19</sup> DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN Manual de cálculo de tarifa del sistema estratégico de transporte público colectivo-2008. Bogotá. Colombia. 2008. 7 p.

Se seleccionó el caso crítico que se presenta cuando un vehículo tiene 10 años de edad; el factor de reducción es de 0,76 aproximadamente.

Una vez se realizaron las respectivas conversiones y se castigó la edad del vehículo con el factor de disminución del rendimiento del combustible, se obtuvieron los factores de contaminación en gr/km tanto para el CO<sub>2</sub> como para el SO<sub>2</sub>.

(Para conocer los factores de contaminación utilizados en el presente estudio, revisar el Anexo 1. Factores para HC, MP<sub>2.5</sub> y NO<sub>2</sub> del Banco Mundial y el Anexo 2. Factores calculados para SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> a partir de índices del Banco Mundial)

### **3.1.5 Cálculo de la contaminación total por kilometraje recorrido anual**

Basados en la necesidad de conocer la cantidad de sustancias contaminantes que se dispersan en el aire por causa de los vehículos de transporte público convencional, se calculan las emisiones desde el 2009 hasta el 2014, diferenciando el aporte de cada tipo de vehículo. Una vez calculados los kilómetros recorridos anuales por toda la flota del transporte convencional y los índices de emisiones en gr/km, se estima la contaminación ambiental producida. Dichos resultados se presentan en gramos.

## **3.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Con el ánimo de conocer las causas de emisión de contaminantes por parte de los vehículos de transporte público y las recomendaciones para evitar que éstas

sean mayores a las permitidas, se identifican los procesos de operación y mantenimiento que se deben llevar a cabo para garantizar el buen funcionamiento de los mismos.

**3.2.1 Emisiones en los vehículos:** Los vehículos producen dos tipos de emisiones.

- Emisiones de escape: Son las emisiones que se liberan mediante el tubo de escape al producirse una combustión completa (CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, vapor de agua) cuya participación es del 60%. El contenido de azufre reduce la efectividad del catalizador incrementando las emisiones de óxido de azufre. El CO está directamente relacionado con el volumen vehicular, principalmente de los vehículos livianos.
- Las emisiones evaporativas: Son las emisiones que se generan aunque el motor no se encuentre encendido, ya que los gases producidos por el proceso de la combustión se volatizan y reaccionan con el aire del exterior y la luz formando niebla contaminante (SMOG).<sup>20</sup>

**3.2.2 Motor de combustión interna** Es el dispositivo que convierte la energía química del combustible en energía mecánica por medio de una explosión dentro de la cámara de combustión, haciendo posible el movimiento del vehículo, basado en ciclos de 2 o 4 tiempos.<sup>21</sup>

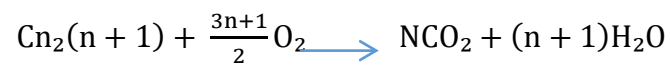
---

<sup>20</sup> CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ. Guía para el manejo de llantas usadas, Primera Edición. DAMA. Departamento técnico administrativo del medio ambiente. Bogotá, Colombia. 2006 47 p.

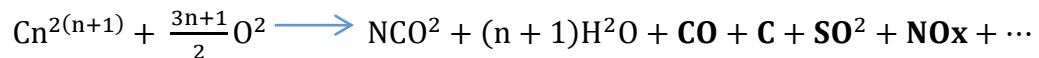
<sup>21</sup> AMADO. Juan Pablo y GÓMEZ. Juan Sebastián. Estudio comparativo de contaminación atmosférica por la operación de un S.I.T.M en Bucaramanga. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander (UIS). Bucaramanga, Colombia. 2004. 128 p.

Los vehículos estudiados pertenecen al proceso de ciclo de 4 tiempos.

**3.2.2.1 Combustión ideal** La combustión ideal es aquella en que el oxígeno del aire quema totalmente el combustible, pues los combustibles que reaccionan con mayor cantidad de oxígeno mejoran la combustión reduciendo las emisiones producida por el motor.



**3.2.2.2 Combustión incompleta** Se produce cuando los filtros del vehículo se encuentran tapados, por esto la cantidad de oxígeno que pasa a reaccionar con el combustible disminuye.

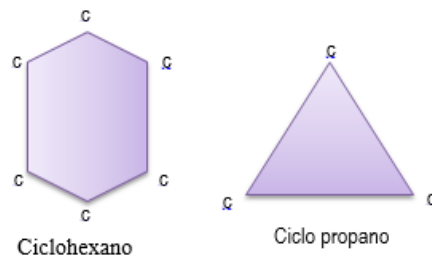


**3.2.3 Motor ciclo Otto** Es el ciclo de un motor convencional de los vehículos a gasolina, la cual debe mezclarse con el aire para que se pueda quemar y producir el proceso de combustión.

HC hace referencia a los hidrocarburos, aunque su nombre real es ciclo hexano (de un solo enlace), y en cuanto a los controles de este compuesto es necesario hacer algunas equivalencias para ser medido como ciclo propano (grafica 3). Este contaminante es altamente cancerígeno y es acumulable en el cuerpo.

El NO<sub>x</sub> es un elemento inestable pues este puede producir NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>; sin embargo, usualmente se mide la cantidad de NO<sub>2</sub> en el aire.

Figura 3. Ciclo hexano y ciclo propano



**3.2.4 Motor ciclo Diesel** Debido a la reacción del combustible con el aire, se producen emisiones principalmente de material particulado y óxido de azufre (a condiciones normales de 25 grados centígrados y 1 atm), donde éste último al reaccionar con la humedad se convierte en ácido sulfúrico, el cual queda en el ambiente y al presentarse una precipitación se convierte en lluvia ácida. Dependiendo del proceso al interior del motor se generan diferentes tipos de humo:

- Humo negro debido a la abundancia de combustible en los cilindros, ocasionando problemas en los inyectores lo cual genera exceso de carbono, en forma de material particulado.
- Humo azul producido por la quema de aceite lubricante producto de un daño en el sello de las válvulas.

- Humo gris, causado porque hay poca cantidad de combustible y hace que el vehículo se esfuerce más.
- Humo blanco originado por las filtraciones de agua en el combustible y quema del refrigerante.

#### **3.2.4.1 Ciclo de motor a combustión interna de 4 tiempos (dentro de los ciclos diésel)**

- Admisión: El pistón aspira la mezcla aire-combustible que se dirige desde el carburador al cilindro, el cual contiene unos anillos que hermetizan el material para evitar las fugas de mezcla provocando emisiones evaporativas.
- Compresión: Al aumentar la temperatura de la mezcla ésta se comprime iniciando la combustión, que se genera de la reacción del oxígeno del aire con el combustible, liberando calor en el momento que se produce una chispa, convirtiéndose en energía de activación.
- Expansión: la energía química del combustible se convierte en energía calórica y en este tiempo finaliza la combustión.
- Escape: se da la salida de los gases resultado del proceso de combustión, expulsados por medio de válvulas de escape

**3.2.5 Externalidades** Algunos factores referentes al uso y operación del vehículo pueden afectar las emisiones que estos producen.

### **3.2.5.1 Número de arrancadas**

- Arrancadas en frío: el vehículo se enciende después de 18 o más horas de estar detenido. En este caso las emisiones son mayores ya que el motor debe esforzarse más para alcanzar la temperatura adecuada y realizar la combustión ideal.
- Arrancada en caliente: cuando el vehículo se enciende después de 5 minutos o menos. No implica aumento en las emisiones.

**3.2.5.2 Emisiones en reposo** Se presentan cuando los vehículos se encuentran detenidos pero en funcionamiento como en zonas de congestión o en intersecciones semaforizadas, donde las emisiones no se miden por kilómetros recorridos si no que están en función del tiempo.

**3.2.6 Mantenimiento** Para que los vehículos funcionen de forma adecuada y no excedan la emisión de contaminantes es importante prestarles un mantenimiento preventivo o en un caso más extremo, mantenimiento correctivo, el cual depende de la calidad del combustible y lubricantes que se le administre y el estado de las partes que conforman el motor y el sistema de escape.

**3.2.6.1 Importancia del sistema de escape** El sistema de escape es el encargado de expulsar los gases generados por la combustión del motor, controlando la cantidad de contaminantes que se emiten al medio ambiente. Su parte fundamental es el catalizador de gases, conformado por cerámica y la unión de varios metales como el platino, el radio, paladio y rutenio, y realiza un proceso de “limpieza” conocido como catálisis, el cual es necesario para convertir los

contaminantes en gases menos peligrosos en 2 pasos:

- Paso 1. Reducción catalítica: donde se rompen las moléculas del óxido de nitrógeno en nitrógeno y oxígeno.
- Paso 2. Oxidación catalítica: se produce la combustión del monóxido de carbono y los hidrocarburos dando como resultado el dióxido de carbono y el vapor de agua.

El mantenimiento del catalizador se debe realizar cada 50 kilómetros para verificar su funcionamiento, y su vida útil se encuentra entre 90.000 y 100.000 km.

**3.2.6.2 Lubricantes** Los lubricantes son aceites que se encargan de facilitar un movimiento fluido entre las piezas del vehículo evitando el desgaste por fricción entre ellas. Los filtros tienen la labor de proteger el lubricante de los residuos de la combustión, cuando el filtro se encuentra en mal estado el rendimiento del vehículo disminuye, gastando mayor cantidad de combustible.

Existen dos tipos de filtros de aceite, el tipo blindado el cual se cambia completamente cuando se encuentra dañado y el tipo cartucho que solo se cambia una parte removible de él.

Es recomendable reemplazar una vez al año los filtros de combustible para proteger los inyectores y cuidar las líneas de admisión.

**3.2.6.3 Llantas** Es importante revisar las llantas antes de poner el vehículo en marcha teniendo en cuenta:

- **Desgaste:** normalmente se debe utilizar una llanta hasta que la profundidad de rodamiento llegue a 1.6mm de profundidad.
- **Presión de aire:** una llanta desinflada puede disminuir el rendimiento del vehículo. Se deben calibrar las llantas una vez a la semana cuando estén frías pues la presión de la llanta puede variar con la temperatura, es recomendable mantener la presión de aire de las llantas recomendada por el fabricante
- **Estado de la llanta:** se debe revisar si la llanta presenta daños como cortes, cristalizaciones, deformaciones o rastros de contaminantes; para cualquiera de estos casos solo se permiten reparaciones superficiales, sin ellas no se puede reencauchar la llanta.

El reencauche consiste adaptación de una nueva banda de rodamiento por medio de técnicas de vulcanización con temperatura y presión determinadas. Las llantas con una banda de rodamiento nueva no deben tener grietas ni cortes que atraviesen el forro interior y en el caso de tenerlas no pueden ser mayores a 1.6mm de profundidad, los parches de los arreglos previos de la llanta no deben tener los bordes sueltos, y tampoco deben tener materiales u objetos extraños tanto adentro como afuera de la ella.

Es importante conocer la fecha de fabricación, capacidad de carga, índice de

velocidad y presión de inflado establecidas por el fabricante y cumplir con las recomendaciones para asegurar una mayor vida útil de la llanta. Cabe aclarar que todos estos controles son necesarios para no disminuir la eficiencia del vehículo, de lo contrario deberá esforzarse más lo que implicaría un aumento en el gasto de combustible y como consecuencia un incremento en las emisiones contaminantes.

**3.2.6.4 Refrigerante** Es una combinación entre agua y glicol, compuesto por agregados antioxidantes y anticorrosivos, que recorre el radiador, su función es mantener al motor en una temperatura óptima de trabajo. Si el nivel del líquido que se encuentra en el tanque es demasiado bajo se debe hacer una recarga del refrigerante. La principal razón por la que disminuye la cantidad de anticongelante se debe a las fugas dentro del vehículo, por eso se recomienda hacer una revisión anual del tanque, y un cambio de líquido cada dos años a partir de 30.000

**3.2.6.5 Termostato** Es primordial para el funcionamiento adecuado de los vehículos, ya que su retiro implica una pérdida de potencia y un aumento del consumo de combustible. Se encuentra en el sistema de refrigeración. Consiste en una válvula que mantiene el motor en una temperatura óptima de trabajo. Se abre permitiendo que el líquido refrigerante circule por el radiador y “enfríe” el motor.

Como consecuencia de la extracción del termostato a un vehículo, se resalta la generación de mayor contaminación y consumo de combustible, la pérdida de potencia y la reducción de la vida útil de algunos componentes, posibilitando un sobrecalentamiento del motor.

**3.2.6.6 Batería** Todas las batería emiten gases, sin embargo éstos no son tan significativos en el proceso contaminante debido a sus bajas concentraciones. No obstante, cuando las emisiones son muy altas, probablemente se deba a una falla en el sistema eléctrico. De ser así, es necesario el cambio de la batería del vehículo.

**3.2.7 Revisión técnico mecánica y de gases** Se estableció mediante la Ley 769 de 2002 modificada por la Ley 1383 de 16 de Marzo de 2010. Para el servicio público la revisión técnico mecánica debe hacerse por primera vez a los dos años de expedida la matricula. En la Norma Técnica Colombiana NTC 5375 (no aplica para maquinaria pesada) se establece los requisitos de la revisión técnico mecánica y de emisiones contaminantes en vehículos automotores la cual se deriva en:

- NTC 4231: Procedimientos de evaluación y características de los equipos de flujo parcial necesarios para medir las emisiones de humo generadas por fuentes móviles accionadas con ciclo DIESEL (método aceleración libre).
- NTC 4983: Calidad del aire. Evaluación de gases de escape de fuentes móviles utilizando motores basados en el ciclo OTTO. Método de ensayo en marcha mínima (ralentí) y velocidad crucero, y especificaciones para los equipos empleados en esta evaluación.

Los defectos del vehículo se clasifican en tipo A los cuales son defectos graves que ponen en peligro la seguridad de los usuarios, de los peatones y del medio ambiente, y los tipo B son los que se consideran un riesgo para la seguridad de los usuarios peatones y medio ambiente. La cantidad y tipo de defectos pueden definir

si la evaluación fue aprobada o rechazada. Para que un vehículo sea aprobado, no debe tener ningún defecto tipo A, y para los de transporte público puede tener como máximo 5 defectos tipo B. En cuanto a los defectos relacionados con la contaminación, se establece que “los vehículos cuyas emisiones de gases de escape tengan concentraciones de gases y sustancias contaminantes mayores a las establecidas por los requisitos ambientales definidos por la autoridad competente, no serán aprobados, debido a que este se establece como un defecto tipo A”.<sup>22</sup>

**3.2.7.1 Norma técnica NTC Colombiana 4231** Metodología para medir las emisiones de humo de los vehículos accionados con ciclo diésel, la cual mide las partículas de carbono, por medio del estudio de la opacidad, que es la capacidad de las partículas para absorber luz, dependiendo de la cantidad éstas se hacen visibles al ojo humano. El instrumento usado en el proceso de medición es un opacímetro de tipo muestreo o de flujo parcial.

**Validación del ensayo:** La diferencia entre los valores mayores y los menores de humo promedio máximo en 5 segundos de los 3 ciclos no debe exceder el 5% de opacidad, para que el vehículo pueda ser aprobado<sup>23</sup>.

**3.2.7.2 Norma técnica NTC Colombiana 4983** Metodología para medir la concentración de los contaminantes en los gases de escape de vehículos a

---

<sup>22</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5375. Revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminantes en vehículos automotores. ICONTEC. Bogotá D.C, Colombia. 2010. p. 3-11

<sup>23</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4231. Procedimientos de evaluación y características de los equipos de flujo parcial necesarios para medir las emisiones de humo generadas por las fuentes móviles accionadas con ciclo diésel. Método de aceleración libre. ICONTEC. Bogotá, Colombia. 2002. 10 p.

gasolina, en velocidad ralentí y de crucero. Los contaminantes a determinar son monóxido de carbono (MO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarburos (HC) y oxígeno (O).

Para que los vehículos puedan ser aprobados la lectura de hidrocarburos debe ser menor a 20ppm, lo cual indica que los filtros están limpios. Se debe verificar que no hayan fugas en el tubo de escape pues no es aceptable un error mayor al 3% en la lectura; donde la muestra está compuesta por 90% gases y 10% aire ambiente. La concentración de CO<sub>2</sub> debe estar por debajo del 7%, este sirve para saber la eficiencia de la máquina, si es mayor al 16% de la concentración significa que el vehículo es viejo. Finalmente, si el concentración de oxígeno excede el 5%, el vehículo será rechazado<sup>24</sup>.

---

<sup>24</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4983. Calidad del aire, evaluación de gases de escape de fuentes móviles a gasolina (ciclo Otto). Método de ensayo en marcha mínima (ralenti) y velocidad crucero y especificaciones para los equipos empleados en esta evaluación. ICONTEC. Bogotá, Colombia. 2001. 14 p.

#### 4. RESULTADOS

A continuación se muestra la estimación de la contaminación anual por uso del transporte público colectivo convencional clasificado por tipo de vehículo.

Tabla 13. Contaminación total en gramos en el año 2009.

Tipo Veh.	Cant.	Km Total.	Km prom c/u	Total gr/km	<b>Total por tipo de veh.</b>
Bus	287	17.494.49	60.956,4	58,76	<b>1.027.977.817,54</b>
Buseta	1488	81.929.42	55.060,1	29,38	<b>2.407.088.948,28</b>
Microbús	127	7.300.07	57.480,9	15,94	<b>116.333.944,20</b>
<b>Año 2009</b>				Total	<b>3.551.400.710,02</b>

Tabla 14. Contaminación total en gramos en el año 2010.

Tipo Veh.	Cant.	Km Total.	Km prom c/u	Total gr/km	<b>Total por tipo de veh.</b>
Bus	203	10.919.783	53.792,0	55,99	<b>611.432.053,88</b>
Buseta	909	64.350.158	70.792,3	28,00	<b>1.801.581.118,41</b>
Microbús	174	16.679.403	95.858,6	15,94	<b>265.802.959,20</b>
<b>Año 2010</b>				Total	<b>2.678.816.131,49</b>

Tabla 15. Contaminación total en gramos en el año 2011

Tipo Veh.	Cant.	Km Total.	Km prom c/u	Total gr/km	Total por tipo de veh.
Bus	203	10.919.783	53.792,0	52,09	<b>568.833.980,93</b>
Buseta	909	64.350.158	70.792,3	26,05	<b>1.676.066.135,31</b>
Microbús	174	16.679.403	95.858,6	15,94	<b>265.802.959,20</b>
<b>Año 2011</b>				Total	<b>2.510.703.075,44</b>

Tabla 16. Contaminación total en gramos en el año 2012

Tipo Veh.	Cant.	Km Total.	Km prom c/u	Total gr/km	Total por tipo de veh.
Bus	102	5.443.184	53.364,6	48,45	<b>263.695.381,08</b>
Buseta	866	56.573.249	65.327,1	24,22	<b>1.370.347.201,15</b>
Microbús	180	12.514.811	69.526,7	15,94	<b>199.436.021,95</b>
<b>Año 2012</b>				Total	<b>1.833.478.604,18</b>

Tabla 17. Contaminación total en gramos en el año 2013

Tipo Veh.	Cant.	Km Total.	Km prom c/u	Total gr/km	Total por tipo de veh.
Bus	0	0	0,0	46,24	<b>0,00</b>
Buseta	822	48.634.126	59.165,6	23,12	<b>1.124.373.805,12</b>
Microbús	186	8.343.950	44.859,9	15,94	<b>132.969.193,57</b>
<b>Año 2013</b>				Total	<b>1.257.342.998,69</b>

Tabla 18. Contaminación total en gramos en el año 2014

Tipo Veh.	Cant.	Km Total.	Km prom c/u	Total gr/km	Total por tipo de veh.
Bus	0	0	0,0	42,51	<b>0,00</b>
Buseta	822	48.634.126	59.165,6	21,25	<b>1.033.671.160,60</b>
Microbús	186	8.343.950	44.859,9	15,94	<b>132.969.193,57</b>
<b>AÑO 2014</b>				Total	<b>1.166.640.354,17</b>

Figura 4. Factores de contaminación anuales por tipo de vehículo.

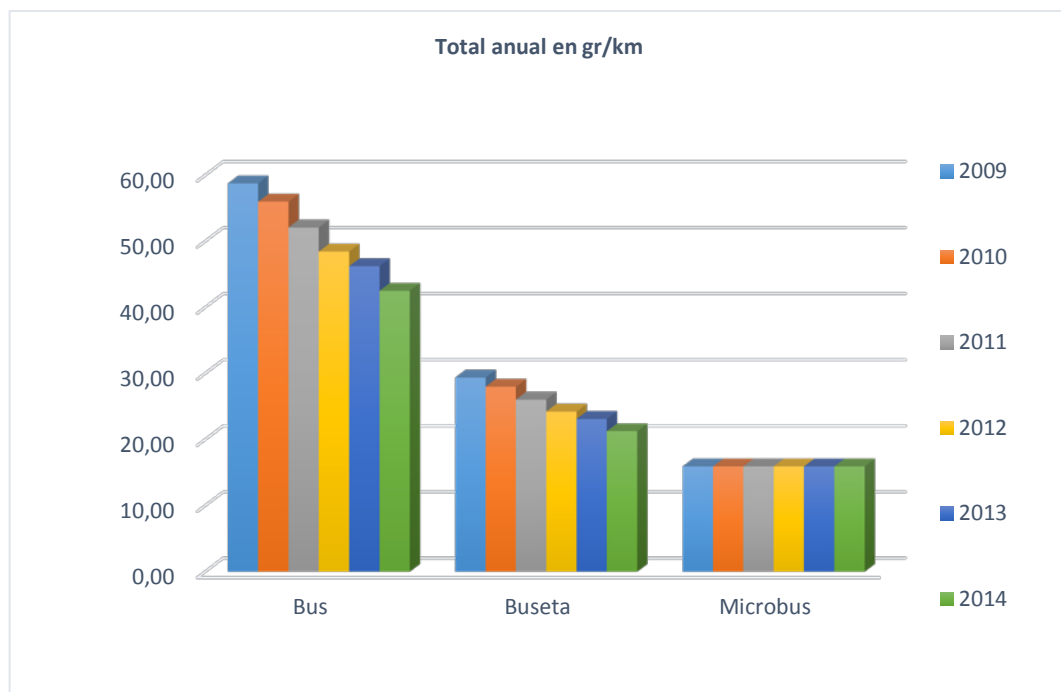
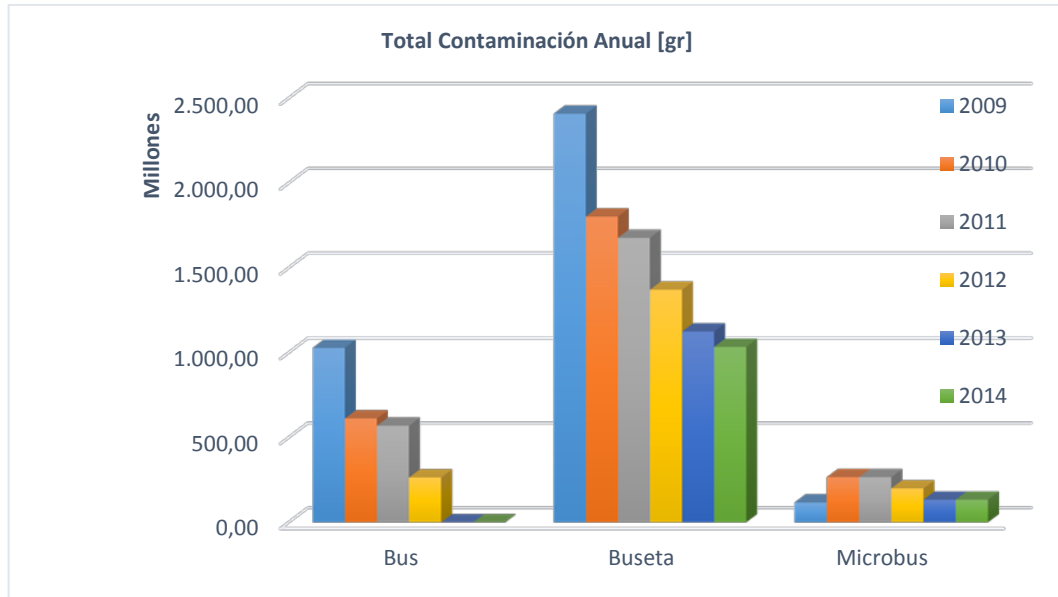


Figura 5. Total de contaminación anual por tipo de vehículo.



#### 4.1 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS RUTAS Y VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO Y SU RESULTADO EN LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Comparando el escenario del 2009 con la primera fase de la implementación del SITM se evidenció que la cantidad de rutas disminuyó un 38% desvinculando 908 vehículos y a su vez vinculando 294 vehículos principalmente microbuses.

La fase II con respecto a la fase I, en cuanto a las rutas disminuyó 18%, donde se desvinculan absolutamente todos los buses para prestar el servicio de transporte público convencional en el área metropolitana, vinculando en su mayoría microbuses a la integración del sistema, para un total de 418 vehículos desvinculados y 138 vinculados.

Del año 2009 a la fase II se desvincularon en total 1187 vehículos y se vincularon 293. En este momento Bucaramanga no cuenta con buses convencionales. En el parque automotor de las empresas de transporte público convencional predominan las busetas a pesar de que el porcentaje de vinculación de los microbuses fue mayor que el de los demás tipos de vehículo.

La fase que presentó la mayoría de desvinculación de vehículos desde que empezó la implementación de Metrolínea fue la fase I con 48%, y desde el 2009 hasta la fase II se desvincularon el 62%.

Los kilómetros recorridos totales anualmente de la fase I frente al 2009 disminuyeron un 13%, mientras que los kilómetros recorridos de la fase II disminuyeron un 42% debido a la reducción del parque automotor.

Se logra establecer que las emisiones totales de buses y busetas disminuyen a medida que pasaron los años, partiendo desde el año 2009 con altos índices de contaminación. No obstante, las emisiones generadas por microbuses aumentó para la fase I de Metrolínea, debido a la vinculación de un gran número de vehículos de este tipo, las cuales han venido disminuyendo paulatinamente desde el año 2011.

#### **4.2 COMPARACIÓN CON EL ESTUDIO DE BARRANQUILLA**

Debido a la tipología del estudio, la metodología empleada y los factores usados establecidos por el Banco Mundial, las unidades de medida de los resultados

obtenidos no son compatibles con la normativa Colombiana de calidad del aire, motivo por el cual no se puede realizar una comparación adecuada con las emisiones obtenidas con los máximos permisibles por la norma. Sin embargo, el estudio “Valoración y cuantificación de los resultados alcanzados con la implementación del sistema integrado de transporte masivo del Área Metropolitana de Barranquilla”, fue realizado siguiendo la misma metodología, de tal manera que sus resultados pueden ser comparables.<sup>25</sup>

En la revisión del estudio se lograron determinar diferencias importantes entre las características de las dos ciudades, lo que permitió establecer ciertos criterios para realizar la comparación, entre ellos el tamaño de las dos ciudades y la población de cada una.

Se encontró que en promedio en los años analizados (a excepción del 2010, puesto que el documento de Barranquilla no tenía la información suficiente), la cantidad de buses excede en 2963 unidades a los existentes en promedio en Bucaramanga, lo que equivale a un 96% de diferencia, razón por la cual se considera que comparar la emisiones por buses es poco útil, dado que los resultados van a ser mucho mayores en el estudio de Barranquilla.

Se examinó el mismo aspecto para las busetas y microbuses, en donde la cantidad de busetas en Barranquilla supera en un 27% a Bucaramanga y a los microbuses en un 89%.

Se realizó el mismo análisis para el kilometraje recorrido anual por tipo de vehículo, en donde Barranquilla supera a Bucaramanga en un 43% para buses, 13% para busetas y 29% para microbuses.

---

<sup>25</sup> PROES S.A INGENIEROS CONSULTORES. “Valoración y cuantificación de los resultados alcanzados con la implementación del sistema integrado de transporte masivo del Área Metropolitana de Barranquilla, y análisis costo- beneficio del sistema, comparando aspectos técnicos del diseño conceptual, la estructuración técnica, los documentos CONPES del SITM y la situación actual del Sistema”. Bogotá, Colombia. 2011.

Finalmente, la comparación de las emisiones contaminantes en promedio, arrojó una diferencia del 96% para buses, 17% para busetas y 87% para microbuses, siendo mayores en todos los casos los índices de la ciudad de Barranquilla, resultado que era de esperarse por el tamaño de la ciudad, población que requiere del servicio de transporte público y su amplio parque automotor.

De acuerdo con la anterior información se puede afirmar que las emisiones contaminantes resultantes de la aplicación de esta investigación son coherentes, siendo las busetas de transporte público las adecuadas para realizar una comparación más detallada, dadas las similitudes de cantidad de vehículos y kilometraje anual recorrido.

Tabla 19. Comparación anual del comportamiento de las busetas entre Bucaramanga y Barranquilla.

<b>Año</b>	<b>Dif. Cantidad</b>	<b>% Dif. Cantidad</b>	<b>Dif. Km Anual</b>	<b>% Dif.Km anual</b>	<b>Dif. Total emisiones [gr]</b>	<b>% Dif. Total emisiones</b>
/09	-269	22,5%	-253,0	0,5%	-470.513.085	24,6%
/11	304	25,9%	-17.050,0	31,0%	25.085.239	1,5%
712	351	29,3%	-10.848,5	19,7%	220.316.325	14,0%
/13	351	29,9%	-4.168,6	7,6%	342.605.751	23,4%
/14	351	29,9%	-4.168,6	7,6%	312.993.919	23,2%

Las diferencias se calcularon de la forma (Datos B/quilla– Datos B/ga), por lo tanto los datos anteceditos por un signo negativo (-) indican que los valores son mayores para la ciudad de Bucaramanga.

## 5. CONCLUSIONES

A pesar de las visitas a las empresas de transporte convencional y la búsqueda exhaustiva de información oficial, no fue posible la recolección de los datos completos correspondientes a las empresas transportadoras encargadas de las rutas complementarias del SITM, por esta razón los datos faltantes estuvieron basados en registros del área metropolitana de Bucaramanga de años anteriores a la implementación del sistema masivo, motivo por el cual los resultados obtenidos son aproximaciones a la realidad.

Los resultados de los informes de calidad de aire de la ciudad de Bucaramanga realizados por la CDMB, se dan en unidades de concentración, mientras que los resultados obtenidos por el presente estudio se encuentran en unidades de masa. Debido a la incompatibilidad de unidades de los resultados, la inconstante medición por parte de algunas estaciones de monitoreo y ya que no todos los contaminantes analizados en el proyecto son los mismos medidos por las estaciones, no fue posible realizar una comparación directa entre los resultados.

No obstante, por medio de los informes de la CDMB se logró determinar un aumento en las emisiones de PM10 entre el año 2009 y el año 2014 en las estaciones de Cabecera y la Ciudadela, lo cual indica mayor presencia de carbono en el aire, provocado posiblemente por el crecimiento industrial en el AMB, el aumento del parque automotor y el incumplimiento por parte de Metrolínea del uso de combustibles Euro 4 y Euro 5, remplazándolos por diesel, principal generador de material particulado.

Por otra parte, de acuerdo con la comparación de los resultados de la presente investigación y los obtenidos del estudio “Valoración y cuantificación de los resultados alcanzados con la implementación del sistema integrado de transporte masivo del Área Metropolitana de Barranquilla”, se logró concluir que las cifras de contaminación total anual calculadas para Bucaramanga por el uso del transporte público colectivo convencional son coherentes.

La Norma Técnica Colombiana (NTC) es actualmente la que establece los criterios técnicos mecánicos y de emisión de gases que se deben cumplir para garantizar el buen funcionamiento de los vehículos y la vigilancia de la contaminación ambiental por uso de diésel y gasolina. Sin embargo, existen algunos controles que no están reglamentados y pueden ayudar a la disminución de emisiones contaminantes, establecidos usualmente por la casa fabricante dependiendo de las características de cada tipo de vehículo, por lo cual no se puede afirmar que el proceso de mantenimiento sea igual para todos los buses, busetas o microbuses.

En cada una de las fases disminuyó la cantidad de buses y busetas del transporte público convencional que operaban en el área metropolitana de Bucaramanga, por lo tanto también redujo el kilometraje recorrido anual, el cual fue la base para calcular los índices de contaminación, concluyendo que dichas emisiones disminuyeron notoriamente frente a un escenario antes de la implementación de Metrolínea. En cambio, a partir de la fase I la cantidad de microbuses vinculados fue mayor a la cantidad de desvinculados, generando que los niveles de contaminación del 2010 al 2014 sean mayores a los del 2009.

No obstante que los análisis que se realizaron a los informes de la CDMB dieron una aumento de contaminación desde el año 2009 al 2014, nuestros resultados

arrojan una disminución de la contaminación por parte del transporte público colectivo convencional, lo que indica que el aumento detectado por la CDMB, no solo se debe a el parque automotor del transporte público, sino a diferentes sistemas aportantes como el nuevo sistema de transporte masivo, los vehículos particulares, las motocicletas, el parque automotor individual, y la industria en general.

Este proyecto de grado puede constituirse en una base para futuros estudios, donde se recomienda realizar un análisis complementario de todas las emisiones producidas por todos los sistemas que no fueron analizadas en este proyecto. Solo de esta manera se podrá hacer un análisis comparativo por la contribución de la contaminación del parque automotor.

## BIBIOGRAFÍA

AMADO. Juan Pablo y GÓMEZ. Juan Sebastián. Estudio comparativo de contaminación atmosférica por la operación de un S.I.T.M en Bucaramanga. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander (UIS). Bucaramanga, Colombia. 2004. 128 p.

CALCANHOTTO Gabriela, NIEHAUS Markus. Grow first, clean up later? Studying the growing traffic emissions in Latin America and exploring future possibilities. 2014. Disponible en internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146514003172>

CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ. Guía para el manejo de llantas usadas, Primera Edición. DAMA. Departamento técnico administrativo del medio ambiente. Bogotá, Colombia. 2006 47 p.

CARRILLO, Gloria. Sistemas integrados de transporte masivo en Colombia: Avances, retos y perspectivas en el marco de la política nacional de transporte urbano. Contraloría General de la República. Colombia. 2010. 31 p.

COLOMBIA, SECRETARÍA GENERAL DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Decreto 715 (4, noviembre, 1994). Por el cual se promueve la reposición del parque automotor en vehículos clase, bus, buseta y microbús y se suspende transitoriamente su ingreso por incremento al servicio público de la ciudad. Bogotá D.C., 1994. [Citado en: 12 de Julio de 2015]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1692>

COLOMBIA. SECRETARÍA GENERAL DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Decreto 948 (5, Junio, 1995) Nivel Nacional, Reglamento de Protección y Control de la calidad del aire. Bogotá D.C. 1995. [Citada en: 11 Julio de 2015]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1479>

COLOMBIA. SECRETARÍA GENERAL DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Decreto 2107 (30, noviembre, 1995) Nivel Nacional. Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995. Bogotá D.C. 1995. [Citada en: 13 Julio de 2015]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=7128>

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 910 (5, Junio, 2008). Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones. Bogotá D.C. Colombia. 2008. [Citada en: 19 Julio de 2015]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=31146>

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN Manual de cálculo de tarifa del sistema estratégico de transporte público colectivo-2008. Bogotá. Colombia. 2008. 7 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION. DOCUMENTO CONPES 3298. Sistema integrado de servicio público urbano de transporte masivo de pasajeros del área metropolitana de Bucaramanga. DNP. Bogotá D.C, Colombia. 2004. 2 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. DOCUMENTO CONPES 3368. Política Nacional de Transporte Urbano y Masivo – Seguimiento”. DNP. Bogotá, Colombia. 2005. 22 p.

FUENTES. Hermes. Práctica empresarial asistencia técnica para el control de calidad en la interventoría realizada por ETA para la construcción del SITM de Bucaramanga-Metrolínea. Tesis de grado. Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), 2010. 33 p.

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. The Benefits and Costs of bus Rapid Transit System and Mexico City. Final Report. México. 2008. 13 p.

REYES. Ana. Influencia de la implantación del sistema integrado de transporte masivo Metrolínea en los procesos de planeación local. Estudio de caso: fase 1 y 2 – Metrolínea en el área metropolitana de Bucaramanga. Periodo 2003- 2011. Tesis de grado. Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. 2013. 9 p.

TÉLLEZ, Jairo, RODRÍGUEZ, Alba, FAJARDO, Álvaro. Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental. En: Revista de Salud

Pública [en línea] Marzo 2006. [Citado en: 3 de Julio de 2015]. Disponible en internet: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42280110>

TORRES Carlos, BERMÚDEZ Elkin, BRAVO Paula. Informe anual de calidad de aire de Bucaramanga 2014. Coordinación de información e investigación ambiental. CDMB, Bucaramanga, Colombia. 2014. 14 p.

## ANEXOS

**Anexos.** “Estimación de la contaminación ambiental por el uso de transporte público colectivo convencional desde la implementación del sistema de Metrolínea, en el área metropolitana de Bucaramanga”

### Anexo 1. Factores para HC, MP2.5 y NO2 del Banco Mundial

Factores de Emisiones Finales por total de Hidrocarburo (g/km)

<b>FACTORES DE EMISIONES FINALES POR TOTAL DE HIDROCARBUROS (THC) EN G/KM</b>							
Año	Vehículo privado	Taxi	LPG Microbús	CNG Microbús	Gasolina Microbús	Bus Diésel	Metrobús
2005	2,08	1,88	5,30	8,04	11,71	9,67	0,75
2006	1,81	1,64	5,30	8,04	11,71	7,76	0,75
2007	1,55	1,38	5,30	8,04	11,71	6,73	0,75
2008	1,35	1,23	5,30	8,04	11,71	5,86	0,75
2009	1,15	1,05	5,30	8,04	11,71	5,40	0,75
2010	1,00	0,91	5,30	8,04	11,71	5,26	0,75
2011	0,92	0,83	5,30	8,04	11,71	5,10	0,75
2012	0,79	0,72	5,30	8,04	11,71	4,85	0,75
2013	0,72	0,66	5,30	8,04	11,71	4,43	0,75
2014	0,66	0,60	5,30	8,04	11,71	4,11	0,75
2015	0,61	0,55	5,30	8,04	11,71	3,85	0,75

---

Fuente: Documento Banco Mundial

---

Factores de Emisiones Finales por total de Óxidos de Nitrógeno (g/km)

---

<b>FACTORES DE EMISIONES FINALES POR OXIDOS DE NITROGENO EN G/KM</b>							
Año	Vehículo privado	Taxi	LPG Microbús	CNG Microbús	Gasolina Microbús	Bus Diésel	Metrobus
2005	0,83	0,80	4,43	4,43	3,41	58,57	4,55
2006	0,75	0,72	4,43	4,43	3,41	57,49	4,56
2007	0,73	0,69	4,43	4,43	3,41	57,54	4,57
2008	0,70	0,66	4,43	4,43	3,41	54,76	4,58
2009	0,69	0,65	4,43	4,43	3,41	52,32	4,59
2010	0,65	0,60	4,43	4,43	3,41	49,73	4,60
2011	0,62	0,56	4,43	4,43	3,41	46,02	4,60
2012	0,57	0,51	4,43	4,43	3,41	42,65	4,60
2013	0,56	0,50	4,43	4,43	3,41	40,88	4,60
2014	0,52	0,46	4,43	4,43	3,41	37,50	4,60
2015	0,48	0,42	4,43	4,43	3,41	33,39	4,60

---

Fuente: Documento Banco Mundial

---

Factores de Emisiones de partículas contaminantes PM2,5 (g/km)

<b>FACTORES DE EMISIONES DE PARTICULAS CONTAMINANTES PM2,5 EN G/KM</b>					
<b>Año</b>	<b>Vehículo privado</b>	<b>Taxi</b>	<b>Gasolina Microbús</b>	<b>Bus Diésel</b>	<b>Metrobus</b>
2005	0,011	0,011	0,056	0,421	0,153
2006	0,007	0,007	0,056	0,364	0,153
2007	0,007	0,007	0,056	0,341	0,153
2008	0,007	0,007	0,056	0,321	0,153
2009	0,007	0,007	0,056	0,268	0,140
2010	0,007	0,007	0,056	0,231	0,140
2011	0,007	0,007	0,056	0,200	0,140
2012	0,007	0,007	0,056	0,173	0,140
2013	0,007	0,007	0,056	0,156	0,140
2014	0,007	0,007	0,056	0,126	0,140
2015	0,007	0,007	0,056	0,107	0,140

Fuente: Documento Banco Mundial

**Anexo 2. Factores calculados para SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> a partir de índices del Banco Mundial**

Factores de Emisiones de dióxido de sulfuro (g/kg)

<b>FACTORES DE EMISIONES DE DIOXIDO DE SULFURO EN G/KG</b>						
Combustible	Años	Contenido sulfuro (ppm)	% emitido Dióxido de sulfuro	Factor emisión (g/Kg)	Densidad (Kg/L)	Densidad (Kg/galón)
Gasolina	2005	300	96,00%	0,576	0,730	2,763
Gasolina	2006-2015	30	96,00%	0,058	0,730	2,763
Diesel	2005-2008	300	97,00%	0,582	0,835	3,160
Diesel	2009-2015	15	97,00%	0,029	0,835	3,160
LPG	2005-2015	140	100,00%	0,280	0,540	2,044
CNG	2005-2015	1,200	100,00%	0,0024		

Fuente: Documento Banco Mundial

Factores calculados de Emisiones de dióxido de sulfuro (g/km)

<b>Dióxido de Sulfuro 2009-2015</b>			
Consumo (gal/km)		Castigo por Edad	Emisión (g/Km)
Microbús (Gasolina)	0,050	<b>0,760</b>	<b>0,010</b>
Bus Diésel	0,100	<b>0,760</b>	<b>0,012</b>

Fuente. Elaboración propia

Factores de Emisiones de dióxido de carbono (g/kg)

<b>FACTORES DE EMISIONES DE DIOXIDO DE CARBONO EN G/KG</b>				
Combustible	Años	Factor de emisión en (g/Kg)	Densidad del combustible (Kg/lt)	Densidad (Kg/Galón)
Gasolina	2005	0,576	0,730	2,763
Gasolina	2006-2015	0,058	0,730	2,763
Diésel	2005-2008	0,582	0,835	3,160
Diésel	2009-2015	0,029	0,835	3,160
LPG	2005-2015	0,28	0,540	2,044
CNG	2005-2015	0,0024	0,72kg/m3	

Fuente: Elaboración propia a partir de Documento Banco Mundial

Factores calculados de Emisiones de dióxido de sulfuro (g/km)

<b>Dióxido de Carbono 2009-2015</b>			
Consumo (gal/km)		Castigo por Edad	Emisión (g/Km)
Microbús (Gasolina)	0,050	<b>0,760</b>	<b>0,010</b>
Bus Diésel	0,100	<b>0,760</b>	<b>0,012</b>

Fuente. Elaboración propia

Factores calculados de Emisiones de dióxido de carbono (g/km)

CARACTERISTICAS DEL DIOXIDO DE CARBONO				
Combustible	Años	Factor de emision en (g/Kg)	Densidad del combustible (Kg/lit)	Densidad (Kg/Galon)
Gasolina	2005	0,576	0,730	2,763
Gasolina	2006-2015	0,058	0,730	2,763
Diesel	2005-2008	0,582	0,835	3,160
Diesel	2009-2015	0,029	0,835	3,160
LPG	2005-2015	0,28	0,540	2,044
CNG	2005-2015	0,0024	0,72kg/m3	

Factor de castigo por edad según tipo de combustible

Dioxido de carbono 2009-2015			
Consumo (gal/km)		Castigo por Edad	Emisión (g/Km)
Microbus (Gasolina)	0,050	<b>0,760</b>	<b>0,010</b>
Bus Diesel	0,100	<b>0,760</b>	<b>0,012</b>