

SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO SOSTENIBLES EN  
BUCARAMANGA: UNA APROXIMACIÓN A LA HUELLA DE CARBONO DEL  
SISTEMA DE TRANSPORTE METROLÍNEA, AÑOS 2015-2017

MARÍA FERNANDA MORENO ÁLVAREZ  
LUISA FERNANDA PRADA SAAVEDRA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD CIENCIAS HUMANAS  
ESCUELA DE ECONOMIA Y ADMINISTRACION  
BUCARAMANGA

2019

SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO SOSTENIBLES EN  
BUCARAMANGA: UNA APROXIMACIÓN A LA HUELLA DE CARBONO DEL  
SISTEMA DE TRANSPORTE METROLÍNEA, AÑOS 2015-2017

MARÍA FERNANDA MORENO ÁLVAREZ  
LUISA FERNANDA PRADA SAAVEDRA

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR  
POR EL TÍTULO DE ECONOMISTA

DIRECTOR  
JUAN CARLOS RIVERA ÁLVAREZ  
MAGISTER EN ECONOMÍA

CODIRECTOR  
ISAAC GUERRERO RINCÓN  
MAGISTER EN CIENCIAS ECONÓMICAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD CIENCIAS HUMANAS  
ESCUELA DE ECONOMIA Y ADMINISTRACION  
BUCARAMANGA

2019

**“TAPURA BULLATA**

*Si este árbol muriera*

*Qué sería de los pájaros que ensordecen la tarde*

*Si sus hojas se secan y en sus ramas no anidaran*

*Qué sería del paisaje*

*Si este árbol no volara como pájaro*

*Qué sería del cielo y el misterio*

*Qué sería de la tierra y las raíces*

*Que sería de la noche y sus murciélagos*

*¿Qué sería del tiempo detenido?”*

Raúl Moreno Jerez.

## DEDICATORIAS

*A mis padres.*

*A mi solecito por iluminarme la vida.*

**María Fernanda Moreno.**

*A mis padres.*

*A Hachiko por forjar mi resiliencia, y ser mi compañero eterno en el corazón.*

**Luisa Fernanda Prada.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a:

Nuestras familias, especialmente a nuestros padres por su formación, por su esfuerzo, dedicación, apoyo, amor y confianza incondicional en nuestra vida personal y académica.

Al profesor Juan Carlos Rivera, nuestro más sincero cariño y un agradecimiento infinito, porque conocerlo nos hizo creer y estar seguras de alcanzar todo lo planeado, fue nuestra esperanza de principio a fin. Este proyecto refleja su constante acompañamiento, esfuerzo, y entusiasmo.

Al profesor Isaac Guerrero Rincón por ayudarnos a encontrar la persona idónea para dirigir y guiar nuestro proyecto, y también por sus sugerencias en este.

Al profesor Amado Antonio Guerrero quien aportó y acompañó el inicio de este trabajo de investigación.

A mis compañeros, por tantas alegrías, por su tiempo, apoyo y cariño, hicieron de esta etapa algo inolvidable y se convirtieron en grandes amigos.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	17
1 CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.1 MARCO TEÓRICO	20
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
1.2.1 Delimitación temporal	23
1.2.2 Delimitación espacial	24
1.2.3 Pregunta de investigación	24
1.2.4 Hipótesis	24
1.3 OBJETIVOS	24
1.3.1 Objetivo general.	24
1.3.2 Objetivos específicos.	24
1.4 JUSTIFICACIÓN	25
2 MOVILIDAD SOSTENIBLE .....	27
2.1 CONTEXTO MUNDIAL	30
2.1.1 Hong Kong, China	32
2.1.2 Viena, Austria	33
2.1.3 Fráncfort, Alemania	34
2.2 CONTEXTO LATINOAMERICANO	36
2.2.1 Buenos Aires, Argentina	37
2.2.2 Curitiba, Brasil	38
2.3 CONTEXTO NACIONAL	40
2.3.1 Bogotá	41
2.3.2 Medellín	42
2.4 CONTEXTO LOCAL	44
3 HUELLA DE CARBONO Y SISTEMAS DE TRANSPORTE .....	47
3.1 EFECTO INVERNADERO	47
3.2 HUELLA DE CARBONO	55
3.3 SISTEMA DE TRANSPORTE	59

3.4 HUELLA DE CARBONO EN SISTEMAS DE TRANSPORTE	62
3.5 POLITICAS Y NORMATIVAS	64
4 METODOLOGÍA .....	69
5 RESULTADOS.....	75
5.1 CALCULADORA DE EMISIONES- UPME	81
5.2 APROXIMACIÓN AL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE METROLINEA PARA EL AÑO 2018 (ENERO-SEPTIEMBRE)	82
6 CONCLUSIONES .....	86
BIBLIOGRAFÍA.....	89
ANEXOS.....	95

## LISTA DE CUADROS

	Pág
Cuadro 1. Emisiones de GEI mg/km limite permitido según la Normativa Euro 3, 4 y 5 en los coches Diesel.....	67
Cuadro 2. Tipos y cantidades de buses del SIT Metrolínea S.A.....	68
Cuadro 3. Gases de Efecto invernadero generados según sector productivo ..	70
Cuadro 4. Factores de emisión combustibles líquidos Colombianos.....	72
Cuadro 5. Potencial de calentamiento global según IPCC .....	73
Cuadro 6. Kilómetros recorridos mensualmente por Metrolínea años 2015, 2016 y 2017 .....	75
Cuadro 7. Factores de emisión equivalencia en toneladas.....	76
Cuadro 8. Combustible Consumido años 2015, 2016 y 2017 .....	77
Cuadro 9. Emisión CO2 equivalente de CO2 años 2015, 2016 y 2017 .....	78
Cuadro 10. Emisión CO2 equivalente de CH4 años 2015, 2016 y 2017 .....	78
Cuadro 11. Emisión CO2 equivalente de N2O años 2015, 2016 y 2017 .....	79
Cuadro 12. Emisiones por tipo de gas y emisiones finales de CO2 equivalente años 2015, 2016 y 2017 .....	79
Cuadro 13. Comparación entre el cálculo manual y la calculadora UPME .....	81
Cuadro 14. Kilómetros recorridos mensualmente por Metrolinea año 2018 (Enero-Septiembre).....	82
Cuadro 15. Cálculo Galones de Combustible Consumido 2018 (Enero-Septiembre) .....	83
Cuadro 16. Cálculo total Emisiones de CO2 equivalente Metrolinea año 2018 (Enero-Septiembre) .....	84

## LISTA DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
Gráfico 1 Limite de emisiones de GEI (mg/km) según la normativa Euro 3, 4 y 5.....	67
Gráfico 2. Comportamiento de kilómetros mensuales recorridos por Metrolínea 2015, 2016 y 2017 .....	76
Gráfico 3. Total de Emisiones de CO2 equivalente años 2015, 2016 y 2017 ...	80
Gráfico 4. Comportamiento kilómetros mensuales año 2018 (enero-septiembre) .....	83

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. CALCULADORA DE EMISIONES- Upme .....	95

## RESUMEN

**TITULO:** SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO SOSTENIBLES EN BUCARAMANGA: UNA APROXIMACIÓN A LA HUELLA DE CARBONO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE METROLÍNEA, AÑOS 2015-2017\*

**AUTORES:** María Fernanda Moreno Álvarez, Luisa Fernanda Prada Saavedra \*\*

**PALABRAS CLAVE:** Economía ecológica, Huella de Carbono, Gases Efecto Invernadero, Contaminación ambiental, Transporte.

**DESCRIPCION:** La temperatura media del planeta está en un constante aumento debido al incremento de las emisiones de GEI generadas por la acción humana. Estos gases permiten que entre energía solar pero no que salga el calor, lo que ha traído consigo enormes repercusiones en el ambiente y en el bienestar de las personas.

En esta investigación se calculó la huella de carbono del Sistema Integrado de Transporte Metrolínea a partir del año 2015 hasta el año 2017 determinando la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente expresado en toneladas mediante el protocolo de gases de efecto invernadero, utilizando datos encontrados en informes de gestión de Metrolínea.

Por su parte, debido a la normativa ambiental adoptada (Euro III y Euro IV) en la implementación del Sistema en la ciudad, Metrolínea no está a la par de la tecnología de países Europeos Euro V y Euro VI. Sin embargo, el sistema de transporte Metrolínea en Bucaramanga comparado con el parámetro de media de emisiones para el sector transporte de 2,69 kg cO<sub>2</sub> eq/lt propuesta por el Grupo Intergubernamental de Expertos por el Cambio Climático, se encuentra por debajo siendo 2,687 Kg CO<sub>2</sub>eq/lt. Por esto, se deben crear estrategias para reemplazar la tecnología obsoleta de flota de vehículos del sistema, así como políticas de reducción de emisiones para que no supere esta media.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ciencias Humanas. Escuela de Economía y Administración. Director: Juan Carlos Rivera Álvarez. Codirector: Isaac Guerrero Rincón.

## ABSTRACT

**TITLE:** SUSTAINABLE URBAN PUBLIC TRANSPORT SYSTEMS IN BUCARAMANGA: AN APPROACH TO THE CARBON FOOTPRINT OF THE METROLINEA TRANSPORTATION SYSTEM, YEARS 2015-2017\*

**AUTHORS:** María Fernanda Moreno Álvarez, Luisa Fernanda Prada Saavedra \*\*

**KEYWORDS:** Ecological Economics, Carbon Footprint, Greenhouse Gases, Environmental Pollution, Transportation.

**DESCRIPTION:** The average temperature of the planet is constantly increasing due to the increase in GHG emissions generated by human action. These gases allow solar energy to enter but not the heat to escape, which has brought enormous repercussions on the environment and the well-being of people.

In this research, the carbon footprint of the Integrated Metrine Transport System was calculated from 2015 until 2017 determining the amount of CO<sub>2</sub> equivalent emissions expressed in tons through the greenhouse gas protocol, using data in the management of Metrolínea. Due to the environmental regulations adopted (Euro III and Euro IV) in the implementation of the System in the city, Metrolínea is not on par with the technology of the European countries Euro V and Euro VI. However, the Metrolínea transport system in Bucaramanga compared to the means of emissions for the transport sector of 2,69 kg of CO<sub>2</sub> eq / lt proposed by the Intergovernmental Panel for Climate Change is below 2,687. Kg CO<sub>2</sub>eq / lt. Therefore, strategies must be created to improve the obsolete technology of the vehicle fleet of the system, as well as policies to reduce emissions to not exceed the average emissions.

---

\* Draft Degree

\*\* Faculty of Human Sciences. School of Economics and Administration. Director: Juan Carlos Rivera Alvarez. Codirector: Isaac Guerrero Rincón.

## INTRODUCCIÓN

Para que haya un equilibrio real entre la biosfera y la urbanización hay que aceptar a la ciudad como un ecosistema que cuenta con sistemas y subsistemas internos con los cuales interactúan, que se encuentran conectados entre sí y que actúan con un fin que va acorde a los intereses de los actores sociales que en ellos habitan, estableciendo relaciones dentro de la misma y por fuera de ella mediante diversas conexiones, entre ellas, el transporte.

El urbanismo necesita incorporar la sostenibilidad, pues no se puede pensar el desarrollo exclusivamente en función del crecimiento y se deben empezar a incluir aspectos sociales, culturales, ambientales, arquitectónicos y urbanísticos con herramientas de principios sostenibles acompañados de un modelo de movilidad que permita un reequilibrio territorial con más cercanía de los lugares de trabajo a las viviendas y una reducción en el tiempo de llegada de los habitantes de la ciudad a su destino.

El transporte es un punto clave en la distribución de la ciudad y de su población pues ahora, la ciudad se comporta como un sistema en donde todas las partes y procesos que se dan en ella están interconectados e interrelacionados. Si el transporte urbano consigue llegar a lugares más alejados de la ciudad, la población se trasladará a estos sitios y se crearán puestos de trabajo más cercanos haciendo una ciudad policéntrica “con varios núcleos generadores de empleo desperdigados en toda el área urbana”<sup>1</sup>.

Con el policentrismo presente, el modelo urbano debe tomar medidas sobre el transporte: como propiciar una ciudad compacta con transportes compartidos o el diseño de medios de transporte que emitan menos cantidades de gases efecto invernadero. La solución no es la construcción de más carriles o carreteras que fomentan la compra de vehículos particulares que viajan con un solo pasajero,

---

<sup>1</sup> ÁNGEL, S. Planeta de Ciudades. Bogotá, Colombia: Universidad del Rosario. 2015. Pág.181.

sino mejorar las condiciones del transporte público para incentivar el uso de éste y otros medios de transporte alternativo como la bicicleta, creando condiciones para que se dé este cambio pues, “para reducir el impacto ambiental de las pautas de movilidad es necesario tanto disponer de opciones adecuadas de transporte sostenible, como que los usuarios estén dispuestos a hacer uso de ellos”<sup>1</sup>.

“Reducir los problemas de congestión y de estrés urbano redundará en menores costes para las empresas y los ciudadanos, con ahorro de tiempo y mejora de la accesibilidad, mientras que disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y bajar los niveles de contaminación y emisiones de gases efecto invernadero (GEI) van en favor de la salud humana, de los ecosistemas y del sistema climático”<sup>2</sup>. Los anteriores son solo algunos de los beneficios de tomar medidas en cuanto al transporte para reducir emisiones que mejoran en últimas el ambiente de la ciudad.

Bajo este argumento, se deben buscar formas de medir estas emisiones y contaminantes que den información para hacer de la ciudad una ciudad sostenible, cambiar lo que no funciona y mejorar lo ya existente. El indicador de “Huella de Carbono” propone un cambio en la actitud de la sociedad y del modelo económico hacia un modelo ecológico de conservación basado en la reducción de emisiones de GEI, ya que el actual modelo de desarrollo está basado en la utilización de recursos que se cree son infinitos, creando un sistema de sobreexplotación que pone en deuda a la sociedad con el medio ambiente y los recursos naturales existentes.

Es por esto que el indicador es una buena herramienta para medir la sostenibilidad y nos acerca a la generación de soluciones basadas en los

---

<sup>1</sup> GIMENEZ, A. Transporte y Sostenibilidad. La universidad Miguel Hernández como caso de estudio. 2009. Pág.2.

<sup>2</sup> JIMENEZ, L. Transporte y movilidad. Claves para la sostenibilidad. 2011. En [http://www.fgcsic.es/lychnos/es\\_es/articulos/transporte\\_movilidad\\_claves\\_para\\_la\\_sostenibilidad](http://www.fgcsic.es/lychnos/es_es/articulos/transporte_movilidad_claves_para_la_sostenibilidad)

cálculos del mismo. Así mismo, y teniendo en cuenta la importancia del transporte público en el urbanismo y en particular de este tipo de transporte público masivo que promete menos contaminación ambiental, mejorar la calidad de vida de los habitantes y la posibilidad de construir una ciudad más competitiva económicamente, es importante analizar si la meta de la sostenibilidad ambiental del transporte público se cumplió en Bucaramanga en los años 2015, 2016 y 2017 a partir de la Huella de Carbono del Sistema Integrado de Transporte Público Metrolínea.

# 1 CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1 MARCO TEÓRICO

La investigación que se realizará viene enmarcada en el concepto de desarrollo sostenible que se acuñó en 1987 cuando fue mencionado en el informe de la Comisión de Brundtland, se dijo que “está en manos de la humanidad asegurar que el desarrollo sea sostenible, es decir, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias”<sup>1</sup>.

En la primera mitad de los años ochenta, mediante el consenso de Washington y de la mano con instituciones internacionales como el Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial, se planteó la necesidad de implementar reformas encaminadas a la expansión del comercio con el fin de construir un mercado único y global que beneficiara a todos los países del mundo, promoviendo de esta forma la no regulación del Estado y dejando a un lado el tema de protección ambiental. Entonces, el desarrollo en América Latina estaba pensado como crecimiento, siendo el sector externo (importaciones y exportaciones) el motor de la economía.

Esta idea generó en los territorios no solo desgaste ambiental sino también inequidad social, lo que dio lugar a un replanteamiento del concepto de desarrollo al interior de las Naciones Unidas, que junto con el PNUD<sup>2</sup> crearon una convocatoria con el fin de repensar el desarrollo en términos más integrales, así como también en lo referente a los órdenes de medición del mismo en términos

---

<sup>1</sup> GUTIERREZ, C. El Desarrollo Sostenible: Conceptos básicos, alcance y criterios para su evaluación. 2010. Pág. 12.

<sup>2</sup> Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo con Amartya Sen, Mahbub UI-Haq, Paul Streeten, Meghnad Desai, Gustav Ranis y Keith Griffin que llevó a la redacción del informe 1990 de desarrollo humano.

de la calidad de vida de las personas. En la construcción de esta propuesta participaron varios economistas, entre ellos Amartya Sen, quien planteaba que desarrollo también implica que las personas que habitan un determinado territorio deben tener buenas condiciones de vida y vivir en libertad. El índice de desarrollo humano (IDH) es un indicador que mide dimensiones del desarrollo humano como larga y saludable vida, adquirir conocimientos y tener un nivel de vida digno, además de crecimiento económico medido en PIB.

Este tipo de desarrollo promueve además la participación activa del Estado y la de sociedad en la construcción de un enfoque multidisciplinar que además de generar armonía económica, también se piensa en armonía ambiental y social. Teniendo también en cuenta esto Max Neef habla del desarrollo a escala humana en donde “la esfera económica es concebida como un componente más de la sociedad humana y, por consiguiente, en íntima conexión con la política y la cultura, con la ecología y la sociología, la psicología y la antropología”<sup>1</sup>.

Bajo este concepto de sostenibilidad, en el 2000 se promulgó la Declaración del Milenio de las Naciones Unidas con un horizonte temporal al 2015, basada en una serie de objetivos que buscaban “erradicar la pobreza extrema y el hambre, lograr la educación primaria universal, reducir la mortalidad infantil, mejorar la salud materna, combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades; garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y fomentar una asociación mundial para el desarrollo”<sup>2</sup>. A pesar de que fue un avance en términos de sostenibilidad global especialmente en lo que tiene que ver con mortalidad infantil, prevención de enfermedades y acceso a la educación, algunos de los objetivos no se alcanzaron y se dejaron afuera temas importantes como la paz, la salud y la gobernanza.

---

<sup>1</sup> MAX-NEEF, A. ELIZALDE, A. HOPENHAYN. M. Desarrollo a escala humana: conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones. 1993. Pág. 6.

<sup>2</sup> Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Objetivos del Desarrollo Del Milenio. Colombia. 2014.

Por esto, y al haberse culminado el plazo de cumplimiento de los objetivos, en el 2015 después de dos años de negociaciones se adoptaron los 17 Objetivos del desarrollo sostenible para un horizonte de 15 años que, aunque cuentan con el compromiso de una gran cantidad de países, plantea indicadores no medibles por la falta de datos, e indicadores que están fuera de contexto en algunos casos pues no se ajustan a particularidades de los países. No obstante, en los objetivos y metas contempladas sí se da importancia al cuidado del medio ambiente y al combate de la desigualdad que tanto abunda en América Latina; preocupaciones que no estaban presentes en los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y que son fundamentales para lograr sostenibilidad.

Es importante para el trabajo que se quiere realizar, el reconocimiento de la interacción armónica entre el ser humano y la naturaleza expuesta en forma científica en la Teoría de los Sistemas. Esta teoría nace en 1948 de una aproximación al estudio de los sistemas mediante la retroalimentación, pero fue el biólogo alemán Ludwing Von Bertalanffy quien en 1968 logró organizar la información al respecto en una teoría General de los Sistemas en donde se define un sistema como un “conjunto de elementos en interacción”<sup>1</sup>. Este concepto se puede aplicar a la ecología, la ciencia que estudia las relaciones entre los seres vivos y el medio en el que viven, para entender la ciudad como ecosistema con sistemas conectados e interdependientes capaces de generar desarrollo.

Por su parte, la huella ecológica fue una herramienta creada por William Rees y Mathis Wackernagel para medir el impacto ambiental del área o población y se define como “una herramienta que permite estimar los requerimientos en términos de consumo de recursos y asimilación de desechos de una determinada población o economía, expresados en áreas de tierra productiva”.<sup>2</sup> Este indicador

---

<sup>1</sup> BERTALANFFY, L.V. Teoría General de los Sistemas: Fundamentos, desarrollo y aplicaciones (trad. Del inglés). 1976.

<sup>2</sup> RESS, W; WACKERNAGEL, M. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. 2001. Pág. 7.

utiliza diversos factores en su medición, uno de ellos, que se espera medir en esta investigación, es la huella de carbono, que es “una medida del impacto de todos los gases de efecto invernadero producidos por las actividades (individuales, colectivas, eventuales y de los productos) en el medio ambiente. Se refiere a la cantidad en toneladas o kilos de carbono equivalente de gases efecto invernadero, producida en el día a día, generados a partir de la quema de combustibles fósiles para la producción de energía, calefacción y transporte entre otros procesos”<sup>1</sup>.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Desde el 2002 se planea que ingrese al AMB un nuevo sistema de transporte que remplace a los buses convencionales y origine incentivos para usarlo en lugar del automóvil. Metrolínea entra en funcionamiento en el 2010 con la promesa de tener diferentes beneficios y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos con una adaptación a combustibles limpios que esperaban reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mejorando la salud pública.

En razón a lo anterior y teniendo en cuenta que no existe un estudio de huella de carbono para el sistema de transporte masivo en Bucaramanga, la investigación pretende observar si este sistema sí se ajusta a las emisiones de gases estándar en los planteamientos del desarrollo sostenible y la normativa Euro.

**1.2.1 Delimitación temporal.** Esta investigación pretende obtener fuentes de información para realizar el cálculo de la huella de carbono del transporte público, en particular del Sistema integrado de transporte Metrolínea para los años 2015, 2016 y 2017.

---

<sup>1</sup> SCHNEIDER, H. WACKERNAGEL, M. La Huella ecológica del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. CEPAL. 2010. Pág.16.

**1.2.2 Delimitación espacial.** Debido a que el sistema integrado comunica a los municipios del área metropolitana de Bucaramanga a excepción de uno, el estudio estaría orientado a: Bucaramanga, Floridablanca y Piedecuesta.

**1.2.3 Pregunta de investigación.** ¿Es la huella de carbono del sistema de transporte masivo Metrolínea aceptable en términos de sostenibilidad, teniendo en cuenta la emisión media que define el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático?

**1.2.4 Hipótesis.** Una vez revisado todo el material bibliográfico e información obtenida, esta investigación afirma que el Sistema Integrado de Transporte Metrolínea no cumple con los estándares aceptables de sostenibilidad para el periodo 2015-2017 que propone el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de emisión media de 2,69 kg CO<sub>2</sub> eq/lt.

### **1.3 OBJETIVOS**

**1.3.1 Objetivo general.** Calcular la huella de carbono del Sistema Integrado de Transporte Metrolínea en el área metropolitana de Bucaramanga en el periodo de tiempo comprendido entre 2015-2017.

#### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- ✓ Describir la evolución en términos de sostenibilidad ambiental del sistema de transporte en Bucaramanga.
- ✓ Presentar los aportes de la huella de carbono como indicador de una ciudad sostenible.
- ✓ Analizar la huella de carbono de Metrolínea teniendo en cuenta bases teóricas de Economía Ecológica.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

En el contexto actual mucho se ha discutido sobre la importancia de incorporar las mediciones de tipo ambiental en variables económicas y se ha utilizado también el concepto de desarrollo sostenible para presentar propuestas o proyectos que se supone se ejecutan de manera responsable y armoniosa con el entorno.

Los indicadores que se utilizan para evaluar el desempeño económico no se encuentran armonizados con la ecología y sus patrones de medición pues se limitan a contabilizar comportamientos de variables en actividades que, aunque utilicen recursos y desechen residuos al medio ambiente en forma de contaminación, estos no se reflejan en su medición como lo son el PIB o la renta, que no pueden ser utilizados para medir sostenibilidad.

Para tomar decisiones acertadas, en lo que tiene que ver con gestión urbana y regional se necesita contar con información suficiente que permita acercarse de la manera más óptima a la solución de algún problema, sea ambiental o de otro tipo. La huella de carbono es un indicador que brinda este tipo de información en lo que tiene que ver con la porción de territorio que se necesita para mantener a la población con los actuales patrones de consumo.

En Colombia se ha dado la implementación de unos sistemas integrados de transporte que prometen ser amigables con el medio ambiente en remplazo de los buses convencionales. Bucaramanga al ser una ciudad que se ha integrado con las ciudades que la rodean conformando el área metropolitana de Bucaramanga, necesitaba de un sistema de transporte eficiente que permita la movilidad de pasajeros hacia los otros municipios conurbados.

La investigación que se proyecta en este caso, pretende hacer un análisis en términos de conservación ambiental y sostenibilidad del Sistema Integrado de

Transporte en Bucaramanga; cálculo que no se ha hecho en la ciudad, a partir del indicador de su huella de carbono.

## 2 MOVILIDAD SOSTENIBLE

Primero, para entender el concepto de movilidad sostenible hay que analizar el de movilidad: La movilidad es un “parámetro o variable cuantitativa que mide la cantidad de desplazamientos que las personas o mercancías efectúan en un determinado sistema socioeconómico<sup>1</sup>”. Para este fin, se utilizan diversos medios de transporte que se conocen como sistemas de transporte y cuya finalidad es acortar distancias entre un lugar y otro, y este acortar distancias se conoce como accesibilidad. Entonces, la accesibilidad, aunque se confunde con la movilidad es el objetivo de ésta última.

Guiados por la lógica anterior, no siempre asegurar una mayor movilidad significa una mayor accesibilidad. La accesibilidad, implica condiciones favorables en el espacio que permitan a los ciudadanos obtener bienes o servicios en la ciudad, por lo que se debe procurar una movilidad que esté encaminada a que los residentes de la ciudad accedan a estos bienes y servicios de manera sostenible con medios de transporte amigables con el medio ambiente y que reduzcan la contaminación atmosférica como lo son el transporte público, la bicicleta y el caminar.

Por su parte, las personas perciben las deficiencias que el transporte genera en su calidad de vida, entre estos: la congestión, la contaminación, y los accidentes; problemas prioritarios que son tenidos en cuenta en las políticas nacionales. Actualmente la movilidad y su estudio no se limitan únicamente al desarrollo de estrategias que reduzcan los tiempos o los costos de transporte de bienes y personas, sino también analiza su contribución al desarrollo social, al uso racional de bienes escasos, y su impacto sobre el ambiente. Aquí es donde se resalta el aspecto de la sostenibilidad y se abren nuevas discusiones y proyectos de mejora sobre este tema.

---

<sup>1</sup> GONZALES, Mariano. Ideas y Buenas Prácticas para la Movilidad Sostenible. Madrid, España: Ecologistas en Acción. 2007. Pg 6.

Entonces, a raíz de la preocupación por la congestión, las emisiones, el incremento de los accidentes, entre otros, nace el concepto de movilidad sostenible que según la Comisión Europea es "un sistema y unas pautas de desplazamiento que proporcionan los medios y las oportunidades para satisfacer las necesidades económicas, ambientales y sociales de manera eficiente y equitativa, al mismo tiempo que minimiza los impactos adversos evitables o innecesarios y sus costes asociados, en escalas espaciales y temporales relevantes<sup>1</sup>". Así, la movilidad sostenible supone un transporte que dé respuesta a los requerimientos de movilidad al tiempo que pretende reducir impactos en el medio ambiente.

La movilidad sostenible, reconoce los inconvenientes de un crecimiento incontrolado, pero mientras la expansión del transporte vaya sujeta con el crecimiento económico, siendo el transporte por carretera y el transporte aéreo los que más contaminan el medio ambiente, existirán pocas posibilidades de hacer realizables los objetivos de la movilidad sostenible. La resistencia de las administraciones públicas a invertir en nuevas infraestructuras de transporte respetuosas con el entorno debido a su elevado costo y a la limitación de los presupuestos estatales<sup>2</sup>, ha agravado la situación y reducido drásticamente las opciones para el mejoramiento del ambiente por medio de la disminución de los gases de efecto invernadero (GEI).

La movilidad se considera por lo anterior como fundamental en el desarrollo de las ciudades y ha ido evolucionado a la par con el crecimiento de éstas. Sin embargo, esta evolución se ha dado creando entornos por y para los automóviles con políticas que fomentan su uso. Las consecuencias de este modelo en la calidad de vida de los ciudadanos son: 1. Problemas relacionados con la

---

<sup>1</sup> COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. Integrated policy aspects of sustainable mobility. Working Paper. Extra Project. Transport RTD Programme. Fourth Framework Programme. 2002.

<sup>2</sup> GIORGI, Lana. Movilidad Sostenible. Revista Internacional de Ciencias Sociales. Marzo 2003. Pág. 3.

congestión que hacen que se pierda tiempo en el desplazamiento. 2. Contaminación de aire debido a emisiones de GEI y contaminación acústica; y 3. Fragmentación del territorio que limita su uso a calles y carreras dispuestas para el transporte terrestre.<sup>1</sup> Es importante, por consiguiente, disminuir el uso del automóvil privado y fomentar el uso del transporte público y no motorizado.

Dentro del proceso de desarrollo sostenible el transporte es uno de los sectores claves ya que los efectos externos negativos que ocasiona y los costes que representan para la sociedad pueden comprometer no solo el futuro de los países o regiones sino incluso el de todo el planeta. Se busca entonces que, sin frenar la movilidad ni el desarrollo económico, el transporte sea sostenible.

El crecimiento acelerado de la urbanización que genera un incremento también de los sistemas de transporte les da la posibilidad también a los encargados de planificar la ciudad de buscar mejores alternativas de movilidad para este nuevo escenario de ciudad. Así, cuando se cree otro asentamiento o ciudad intermedia se puede pensar en soluciones de transporte para los habitantes de la misma en donde el transporte público y no el privado sea el protagonista. Sin embargo, estos sistemas de transporte público tienen también beneficios y desventajas en términos económicos.

Entre los beneficios están: 1. Se tienen como beneficiarios a los usuarios si se construyó para mejorar el desplazamiento en todo el transporte colectivo o en un área en particular y es el Estado el que asume los costos de este. 2. Los beneficiarios son las empresas si se quiere mejorar la accesibilidad en un área industrial o de servicios y los costos se asumen en impuestos a las actividades beneficiadas. 3. Los beneficiarios son los propietarios inmobiliarios si se quiere mejorar la plusvalía en el suelo y los costos se cubren con la valorización de los predios que genera impuestos en el suelo. 4. Los beneficiarios son los dueños de automóviles privados si se quiere reducir el consumo de espacio del transporte público y los costos se cubren con impuestos al dueño del vehículo o

---

<sup>1</sup> GONZALES. Op. Cit., pg. 8.

peajes urbanos. 5. Se beneficia al Estado si se quieren reducir los recursos y efectos externos y es el Estado el que asume los costos.<sup>1</sup>

Por otra parte, también se tienen que tener en cuenta sus desventajas como lo son: 1. Afectaciones en el ámbito territorial de la ciudad que son costeadas por el Estado. 2. Cambios en las pautas de circulación ocasionadas por el vehículo privado que son costeadas por dueños de automóviles por medio de impuestos o peajes urbanos. 3. Costos elevados en la infraestructura que muchas veces hacen su implementación inviable.<sup>2</sup>

De lo anterior se puede concluir que, aunque existen también desventajas y costos asociados a la implementación de un sistema de transporte sostenible, estos se deben tratar de aminorar con políticas orientadas a incentivar el uso del transporte colectivo y también haciendo de éste el preferido por los ciudadanos incorporando una planeación del territorio y el crecimiento urbanístico a la expansión de una red de transporte barata y eficaz que aminore daños ambientales.

## **2.1 CONTEXTO MUNDIAL**

En lo que a transporte público se refiere, en Europa se encuentran aproximadamente la mitad de metros y tranvías del mundo. Al ser un continente con un alto nivel de desarrollo en las ciudades que en él se encuentran, se ha posibilitado la implementación de los mismos. Así mismo, fue en este continente donde nació el ferrocarril urbano debido a una mayor densidad poblacional y de actividades. Francia, Rusia y Alemania se destacan con el mayor número de

---

<sup>1</sup> ARISTI, J; MALDONADO, J. Financiación de Infraestructuras y Servicios de Transporte Urbano. Revista de Obras públicas. 1994. Disponible en internet: [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1994/1994\\_abril\\_3331\\_07.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1994/1994_abril_3331_07.pdf)

<sup>2</sup> ARISTI, J; MALDONADO, J. Op. Cit.

metros y tranvías que permitían en su momento la movilidad de trabajadores y ahora de ciudadanos y turistas.

En América del norte se tiene que destacar a Vancouver, Montreal y Toronto en Canadá que poseen importantes redes de metro. Estados Unidos debido a la dispersión urbana y el no coordinar políticas públicas a favor del transporte urbano se ha llevado a incentivar en últimas el uso del automóvil privado, no ha impulsado el ferrocarril urbano y ha optado por implementar tranvías o metros ligeros que recorren las calles de Miami, Los Ángeles y otras ciudades medias. A pesar de lo anterior se puede encontrar una red de metro en Nueva York, Chicago, Boston y Filadelfia.

En Asia, cabe mencionar a Japón pues posee uno de los metros más importantes del mundo, a Corea del Sur y a las ciudades próximas a China pues presentan un desarrollo importante en términos económicos que se traduce también en mejoramiento en los sistemas de transporte al concentrar también los países con las mayores densidades poblacionales del mundo. Sin embargo, los demás países asiáticos no presentan un significativo sistema ferroviario a excepción de Turquía cuya importante red ferroviaria se debe a su cercanía con Europa.

En Oceanía y África se ha visto un avance en esta área recientemente. Sudáfrica, Egipto, Argelia y Túnez cuentan con redes ferroviarias en África, pero son pocas las ciudades que conectan y en Oceanía se encuentran implementadas redes de transporte en las grandes ciudades australianas.

Teniendo en cuenta lo anterior, La consultora de diseño y movilidad urbana Arcadis junto al londinense Centre for Economics and Business Research (Centro de Investigación Económico y Empresarial) las cuales tomando como referencia indicadores de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Oficina Europea de Estadística (Eurostat), entre otras organizaciones, elaboraron una clasificación de las ciudades capitales con sistemas de transporte más sostenibles en el mundo, para esto se plantearon tres categorías que son:

Personas, que mide las implicaciones sociales de cada sistema; Planeta, que pondera el impacto en el entorno y Beneficio, que estima su eficiencia y crecimiento asociado<sup>1</sup>. Entre estas ciudades según el documento se encuentran:

**2.1.1 Hong Kong, China.** Es una de las ciudades más modernas del mundo, un importante centro de telecomunicaciones y una de las dos regiones administrativas especiales de China, contando a su vez con más de 200 islas incluyendo la isla de Hong Kong que es su distrito central, en las que viven 7.347.000<sup>2</sup> personas, lo que lo hace el cuarto territorio más densamente poblado del mundo.

El sistema de transporte en esta ciudad de China es considerado el más sustentable debido a que posee la mayor puntuación en el índice que movilidad urbana<sup>3</sup> que se basa en 23 indicadores individuales de movilidad que se agrupan en: Gente, Planeta y Beneficio. En el 2017, de 0 a 100 Hong Kong obtuvo un 58,2.

A pesar de ser mundialmente una ciudad conocida por su inigualable infraestructura en transporte, la ciudad tiene que enfrentar desafíos por su densidad poblacional que se traduce en espacio limitado, envejecimiento de la población y aumento del tráfico, además de las preocupaciones ambientales.

A pesar de lo anterior, el sistema de transporte es uno de los más baratos y seguros del mundo. Menos de la quinta parte de los habitantes de la ciudad cuenta con un carro particular, el espacio para caminar es limitado y la gente no se desplaza en bicicleta, por lo que la mayoría de su población utiliza la red

---

<sup>1</sup> RIPA, J. Las mejores ciudades del mundo para moverse. Periódico El país. 2017. Disponible en internet: [https://elpais.com/economia/2017/11/15/actualidad/1510765149\\_279561.html](https://elpais.com/economia/2017/11/15/actualidad/1510765149_279561.html)

<sup>2</sup> Banco Mundial. Data. Hong kong. 2018. Disponible en internet: <https://data.worldbank.org/indicador/SP.POP.TOTL>

<sup>3</sup> ARCADIS. Sustainable Cities Mobility index 2017. Bold Moves. A focus on Europe. 2017. Pag. 20.

integrada de transporte público: “Más del 90% de los viajes diarios se hacen en el transporte público, siendo esta la tasa más alta en el mundo”<sup>1</sup>.

La ciudad de Hong Kong, al ser un epicentro de actividades de tercerización y de manufactura necesitaba y logró estructurar un sistema de transporte que se ajusta a su población que lo prefiere por encima del automóvil privado, es por esto y por su seguridad y facilidad de pago que se consolidó como el más sostenible del mundo según un indicador que no solo tiene en cuenta lo ambiental sino también lo social y lo económico.

**2.1.2 Viena, Austria.** Es la capital, núcleo industrial y ciudad con la riqueza cultural más importante de Austria. Cuenta con una población de 1.760.000 habitantes aproximadamente y está dividida en 23 distritos es sexta en la categoría de Planeta y novena en la de Beneficio, caracterizada por contar con el mejor sistema de transporte público del continente europeo, con un sistema inteligente y armónico, que también la sitúan como la ciudad con la mejor calidad de vida del mundo.

Casi el 75% de los habitantes utilizan el transporte público, reduciendo en gran medida la utilización de vehículos propios y con esto todos los problemas en la calidad de vida acortando también tiempos de desplazamientos y problemas ambientales de la ciudad disminuyendo emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, esta ciudad ha promovido la utilización de la bicicleta y el caminar como mecanismos de transporte.

Viena, al ser una ciudad reconocida por su atractivo turístico debía orientar su transporte a los visitantes y lo hizo de una manera amigable con el medio ambiente, apostándole a dar a conocer su ciudad mediante el uso del transporte público. Es por esto, que no solo los turistas, sino que también sus ciudadanos

---

<sup>1</sup> LAM, William H.K. Modelado Avanzado para Operaciones de Tránsito y Planificación de Servicios. Editorial Elsevier. 2003.

aprovechan los beneficios que este sistema le ha traído a la ciudad prefiriendo este medio de transporte para sus viajes diarios.

**2.1.3 Fráncfort, Alemania.** Es la quinta ciudad más grande de Alemania, capital financiera de la Unión Europea con sede del Banco Central Europeo, el Banco Federal de Alemania y la Bolsa alemana, así como Bancos comerciales. En esta ciudad se encuentra también el aeropuerto más grande de Alemania. Aunque cuenta con una pequeña población es una ciudad que está situada en una región donde residen una gran cantidad de extranjeros por lo que Fráncfort cuenta con el mayor porcentaje de extranjeros del país.

Es una ciudad enfocada en el respeto y la armonía ambiental, es primera en la categoría de Planeta. Además, a la ciudad llegan aproximadamente más de 350.000 personas a trabajar desde la región Rin-Meno, movilizadas por uno de los sistemas de transporte que arroja menos emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera según Carbon Disclosure Project (CDP), una organización sin ánimo de lucro que mide los impactos ambientales de las urbes y de las organizaciones de carácter privado y público.

Fráncfort cuenta con un sistema de transporte muy eficiente que conecta la ciudad en sus diferentes puntos y con las ciudades aledañas, cuentan con metro, trenes, el tranvía y autobuses. El metro es subterráneo y cuenta con nuevas líneas con 65 kilómetros de extensión lo que lo hace uno de los medios de transporte preferido. El tren es el medio más usado por su mayor alcance y rapidez, y conecta la ciudad con las ciudades vecinas. El tranvía es el medio de transporte más antiguo, tiene ocho líneas y una línea turística. Los autobuses no son preferidos a menos que sea de noche pues no tienen una amplia cobertura, pero trabajan en el horario nocturno. También es importante mencionar que cuentan con un servicio de alquiler de bicicleta llamado Call a Bike.

La ciudad a pesar de ser pequeña, representa un núcleo financiero en Alemania y cuenta con un metro que la conecta con el resto del país. También, le apuesta

a sistemas de transporte cómodos y adecuados no solo para sus ciudadanos sino también para los visitantes temporales y con esto también incentivan el turismo. Actualmente la ciudad está trabajando en un proyecto de electrificación de sus vehículos, para esto está ampliando la red de espacios de carga. También por otra parte, se implementó un sistema de parqueo de bicicletas en zonas donde se puede tomar el transporte público.

En el mundo, y en particular en las principales urbes de Europa y Asia se ha procurado, dado el crecimiento de las ciudades hacia la periferia, el crecimiento también del transporte enfocado a lo público y a la sostenibilidad asegurando la accesibilidad a éste a sus habitantes y orientado también al turismo. Las ciudades estudiadas tienen en común que el metro es el sistema de transporte preferido para desplazarse por turistas y ciudadanos poniendo en evidencia la relación armoniosa entre conectividad, movilidad y sostenibilidad.

Europa por su parte, presenta un mayor nivel de desarrollo ya que tras la segunda guerra mundial, era en éste continente donde se encontraba la mayor densidad poblacional y actividades económicas lo que posibilitó la creación de redes de transporte y crecimiento periférico gracias a la entrada en funcionamiento del metro pues “es Europa la que posee un mayor número de metros y tranvías, con la mitad de redes del globo aproximadamente, mientras América y Asia Oriental se reparten la otra mitad”.<sup>1</sup>

Es de resaltar, por lo tanto, que las más importantes ciudades del mundo optan por orientar las políticas urbanas al uso del transporte público masivo eficiente en vez de promover el automóvil privado mejorando la calidad de vida, el cuidado del medio ambiente y el crecimiento económico que no solo está enfocado en ser capitales financieras, económicas, tecnológicas y/o culturales sino también ser capitales sostenibles.

---

<sup>1</sup> VIANA, E. Definición y tipología de los sistemas ferroviarios, aspectos generales: El caso español. Universidad de Barcelona. 2015. Pág. 13.

## 2.2 CONTEXTO LATINOAMERICANO

Los sistemas férreos llegaron a América Latina en 1913 con el metro de Buenos Aires y se consolidaron a lo largo del siglo XX (“México en 1968, Sao Paulo en 1974, Santiago en 1975, Rio de Janeiro en 1979, Caracas en 1983 y Medellín en 1995”<sup>1</sup>), y se hicieron en países cuyas condiciones propiciaron su implementación. Sin embargo, esta implementación no se hizo mejorando la prestación del servicio para todo el territorio sino solo en los sectores donde se había construido pues, aunque se ha trabajado por mejorar la coordinación y complementariedad con otros medios de transporte público, todavía se recurre al transporte tradicional poniendo en evidencia las falencias de los nuevos sistemas de transporte masivo.

Estas fallas en la implementación de transporte público masivo también se deben a que la región sufrió transformaciones desde la década de los 80 al tratar de insertarse en la economía mundial y los procesos de globalización que se llevaban a cabo en la época siguiendo políticas de liberalización de la economía lo que conllevó a que la actividad industrial pasara a un segundo plano dándole más importancia al sector servicios. Este cambio en actividades generó una mayor demanda del suelo urbano con expansión desordenada de los asentamientos en las diferentes ciudades latinoamericanas.

En efecto, la liberalización de la economía también originó que se diera una reducción en el papel de Estado en el sector transporte y sobretodo en la regulación del transporte público por lo que se facilitó “la expansión de la oferta –a menudo deficitaria en las épocas de fuerte regulación- y el reajuste tarifario, se establecieron menores o más flexibles exigencias en cuanto al parque automotor y se abolieron todas las formas de subsidios que aún existían en

---

<sup>1</sup> PARDO, Carlos Felipe. Los cambios en los Sistemas integrados de transporte masivo en las principales ciudades de Latinoamérica. Naciones Unidas. Chile. 2009. Pag 12.

algunos países.”<sup>1</sup> La abolición de estos subsidios generó la desaparición o privatización de las empresas públicas de transporte como consecuencia de la reducción de la función pública.

En América Latina se debe mencionar a Argentina, Brasil, Chile, México y Venezuela que siendo países en desarrollo demuestran avances en políticas orientadas al transporte público que fomentan el desarrollo económico y ayudan a mejorar la calidad de vida de los habitantes que es vital en países en donde se concentran trabajadores de clase media/baja con medios limitados que requieren de la implementación de un medio de transporte masivo y seguro.

Las ciudades representativas en América latina con diversos casos en materia de movilidad son:

**2.2.1 Buenos Aires, Argentina.** Es la capital de Argentina, ciudad más importante de este país y una de las más grandes de América latina. La ciudad cuenta con la mayor calidad de vida de Latinoamérica con una de las más altas rentas per cápita y es una de las capitales más visitadas de mundo.

La ciudad de Buenos Aires fue la primera en implementar sistemas masivos de tranvías, líneas subterráneas de metro y ferrocarriles regionales al ser una de las mayores áreas metropolitanas de Latinoamérica. Actualmente para moverse por la ciudad se puede optar por usar los autobuses, el subte, el tren o la bicicleta.

Sin embargo, a pesar de contar con una oferta de medios de transporte diversa, la ciudad de Buenos Aires contó con un crecimiento disperso y no planeado lo que generó una desarticulación de los medios de transporte que funcionan en la ciudad. Y lo anterior influye a que en la ciudad se incremente el uso del automóvil particular que genera aumento en la congestión y los tiempos de viaje para el transporte público “que incide en una disminución del total de viajes generados,

---

<sup>1</sup> FIGUEROA, Oscar. Transporte urbano y globalización. Políticas y efectos en América Latina. Revista eure (Vol. XXXI, N. 94). Chile. 2005. Pag.43.

especialmente por los sectores sociales que más precisan del transporte público”<sup>1</sup>.

Buenos Aires, presenta características de una ciudad global que ha implementado sistemas de transporte propios de capitales mundiales importantes y que requirieron de una gran inversión en infraestructura. No obstante, estas inversiones no se hicieron de manera planificada lo que ha incrementado el uso del automóvil privado e incluso los medios de transporte informales ya que los sistemas de transporte existentes no cubren las necesidades de la ciudadanía al ser la ciudad más densamente poblada de América y la novena en el mundo, poniendo en evidencia la falta de planeación que afecta no solo el buen funcionamiento del transporte sino también la calidad de vida de su población.

**2.2.2 Curitiba, Brasil.** Es la capital del Estado de Paraná en Brasil. Es una ciudad conocida mundialmente por su innovación a la hora de dar solución a problemas urbanísticos para mejorar la calidad de vida por lo que se encuentra entre los tres municipios con mejor infraestructura del país después de Sao Paulo y Rio de Janeiro. Además, cuenta con muchos parques públicos lo que la hace la ciudad con la más alta calidad de vida de Brasil y la ciudad más limpia de Sudamérica.

En la década de los 70 se partió de un enfoque de planificación según el cual el transporte colectivo era la herramienta de planificación del crecimiento de la ciudad. Entonces, Curitiba fue la primera ciudad en el continente en implementar el Bus rápido conocido por sus siglas en inglés como BRT. Empezó a operar como parte de una política de planificación urbana en 1972 y “ha sido la primera demostración real que un sistema de transporte público basado en buses puede

---

<sup>1</sup> BLANCO, Jorge; DOMÍNGUEZ, Luis; GUTIERREZ, Andrea. Ciudad de Buenos Aires: elementos para una política de transporte. Revista de Transporte y Territorios. Universidad de Buenos Aires. 2016. Pag.89. Disponible en internet: file:///Users/mercedes/Downloads/Dialnet-CiudadDeBuenosAires-5692929.pdf

lograr movilizar pasajeros con capacidades similares a las de un sistema férreo”<sup>1</sup>, y se convirtió en un ejemplo global de integración con alcance metropolitano teniendo en cuenta los usos de suelo y el diseño del espacio público según planes urbanos creando un Desarrollo orientado al Transporte Urbano.

Es la ciudad en Latinoamérica que más ha avanzado en lograr el objetivo de contar con un sistema de transporte urbano sostenible e integrado. Avance que se explica por la sincronización de la planificación urbana con las acciones en el sector transporte, además que se le daba continuidad a estas acciones, convirtiéndose en un ejemplo de planeación orientada al transporte público y que cubre toda la extensión urbana con los diferentes medios de transporte de manera integrada.

La liberalización del transporte en Latinoamérica ocasionó un incremento de sistemas informales de transporte por la polarización que social en la que la población de mayores recursos tiene la posibilidad de desplazarse en automóvil privado, y los sectores de menores ingresos quedan rezagados entre los que pueden acceder a los medios de formales de transporte público y los que optan por el transporte informal e inseguro que no son necesariamente más económicos, lo que genera cada vez más segregación social.

Es importante mencionar también que, estando frente a países y ciudades en donde se concentran sociedades de ingresos medios y que dependen del medio de transporte público para realizar sus viajes diarios, hay que concentrar los esfuerzos en mejorar los medios de transporte público ya existentes logrando así que se mejore la productividad de las economías urbanas reduciendo el tiempo y el costo de los desplazamientos, “así como es indispensable que los sectores sociales de bajos ingresos económicos dispongan de un servicio cómodo, eficiente y a precios administrados, que no incida demasiado en el presupuesto

---

<sup>1</sup> PARDO. Op.Cit. pág.15.

familiar, ya de per se, bastante reducido para cubrir las necesidades básicas de reproducción social”<sup>1</sup>.

### **2.3 CONTEXTO NACIONAL**

El país presenta un atraso en infraestructura vial. En respuesta a esta problemática, al crecimiento económico y a la apertura comercial, el país ha invertido sus recursos en proyectos como la Ruta del Sol, autopista que mejorara la conexión entre el centro del país y el caribe, también la Troncal Bogotá-Buenaventura que incluye el túnel más largo de América Latina para conectar la capital con el principal puerto del Pacífico, y la Transversal de las Américas entre otros grandes proyectos.

Por su parte, la problemática del sistema de transporte público en el país radica en un servicio de baja calidad y una oferta de infraestructura inadecuada que no responde a las necesidades de la población. El servicio es prestado por varios agentes de forma desorganizada, se caracteriza por el uso de buses obsoletos, es decir aquellos cuya vida útil ha terminado, diseño de rutas y operación inadecuadas, y también sobreoferta de frecuencias, además de que la dinámica del pago de los conductores incentiva la práctica de competencia por pasajeros, conocida como “la guerra del centavo” generando afán en las vías y accidentabilidad.

La primera ciudad en la cual se empezó a trabajar un sistema ordenado de transporte urbano fue en la ciudad de Bogotá y años más tarde el Gobierno Nacional inicio un programa para promover Sistemas Integrados de Transporte

---

<sup>1</sup> CABRERA, Diego Rafael. DECORSO, Guisepe. Movilidad y Desarrollo Urbano en América Latina. Algunos aspectos con énfasis en el caso Bogotá. En Análisis Organizacional, Política Científica y Desarrollo Tecnológico. México. 2013. Pag. 1395.

Masivo (SITM) en ciudades grandes e importantes del país, tomando como base la exitosa experiencia de Trasmilenio.

Sin embargo, la implementación de estos sistemas en otras ciudades no ha sido tan eficiente, ésto debido a que mientras en la ciudad de Bogotá la coordinación de Trasmilenio era de carácter autónomo, es decir dirigido únicamente por la alcaldía de la ciudad en el gobierno de Peñalosa, en las demás ciudades en donde se implementó el sistema éste era dirigido por el Gobierno Nacional. Los cambios de gobierno generaron problemas en los tiempos de construcción de la infraestructura y en la evacuación de los buses convencionales que se tenían. Esto no quiere decir que los Sistemas Integrados de Transporte Urbano en Colombia hayan sido un total fracaso, sino que es un proceso en transición que se debe seguir fortaleciendo y mejorando.

**2.3.1 Bogotá.** Es la ciudad capital, en la cual los problemas de congestión urbana comenzaron a evidenciarse a partir de 1951 con el cierre del Tranvía de Bogotá. El crecimiento poblacional y la falta de políticas de regulación efectivas del transporte urbano incrementaron la congestión vehicular, lo que también sucedió en otras ciudades colombianas a medida que estas crecían.<sup>1</sup>

Aunque siempre se pensó que el metro era la solución a la congestión vehicular en la ciudad, el país se encontraba en una crisis económica en 1998 que no le permitía acceder a este sistema. Por esta razón se implementó el uso de los Buses de Transito Rápido (BRT por sus siglas en inglés) siguiendo el ejemplo de ciudades como Curitiba y Porto Alegre en Brasil, este sistema ha demostrado que existen soluciones de menor costo que también son efectivas. Se trata de un sistema de transporte masivo y centralizado en donde sus vehículos transitan por carriles exclusivos.

---

<sup>1</sup> Fedesarrollo. Centro de investigación económica y social. La integración de los sistemas de transporte urbano en Colombia una reforma en transición. 2013. Disponible en internet: <http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/175/La%20integracion%20de%20los%20sistemas%20de%20transporte%20urbano%20en%20Colombia%20-%20Findeter.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Según datos del año 2009 con respecto a las emisiones de Monóxido de Carbono - CO, los automóviles a gasolina producen 503 toneladas diarias, mientras que los autobuses donde se implementa combustible diésel producen 53 toneladas diarias. En el caso del dióxido de carbono - CO<sub>2</sub>, el transporte individual produce 5.600 toneladas diarias, mientras que el transporte colectivo produce 2.400 toneladas diarias.<sup>1</sup> Es decir, que la mayor cantidad de emisiones de GEI se concentran especialmente en el transporte individual.

TransMilenio fue el primer proyecto en obtener créditos del Mecanismo de Desarrollo Limpio de la ONU y en 2012, último año del que se disponen datos sobre emisiones, el sistema ayudó a reducir 82.000 toneladas equivalentes de dióxido de carbono.<sup>2</sup> Este sistema es liderado totalmente desde la ciudad y ha cumplido con los estándares esperados, en aspectos como reducción de costos, de tiempo de desplazamiento y de contaminación del aire.

Hoy en día esta ciudad es un ejemplo a seguir en la provisión de infraestructura para peatones y ciclistas, se ha reducido la contaminación gracias al uso de la bicicleta como medio de transporte ya que la ciudad ha adquirido una red de 380 kilómetros de bicisendas, además en los días festivos se realizan ciclovías por la ciudad y se celebra una vez al año el día sin carro.

**2.3.2 Medellín.** Esta ciudad al igual que muchas otras ciudades colombianas y latinoamericanas se ha caracterizado por el desarrollo de asentamientos urbanos en su periferia, los cuales carecen de servicios básicos que garanticen una vida digna a sus habitantes como lo son los servicios públicos, infraestructura y accesibilidad al transporte público, entre otras.

---

<sup>1</sup> Banco de Desarrollo de América Latina. Desarrollo Urbano y Movilidad en América Latina. 2011. Pág 148. Disponible en internet: [https://www.caf.com/media/4203/desarrollourbano\\_y\\_movilidad\\_americalatina.pdf](https://www.caf.com/media/4203/desarrollourbano_y_movilidad_americalatina.pdf)

<sup>2</sup> El país. Planeta Futuro. La movilidad sostenible del futuro en las ciudades latinoamericanas. 2016. Disponible en internet: [https://elpais.com/elpais/2016/10/03/planeta\\_futuro/1475493190\\_616457.html](https://elpais.com/elpais/2016/10/03/planeta_futuro/1475493190_616457.html)

Estos asentamientos humanos no se pueden erradicar, pero si es posible mejorar sus condiciones. Por esta razón conectar las zonas más inaccesibles con el centro, las zonas de trabajo y educación se convirtió en una prioridad para Medellín. Ciudad que se convirtió en la primera en el mundo en implementar un sistema de teleférico como medio de transporte público de tiempo completo, además de emplearlo con proyección social, disminuyendo la desigualdad. El metrocable es complementario al metro de Medellín, y atiende las necesidades de transporte de algunos de los sectores menos favorecidos de la ciudad.<sup>1</sup>

Actualmente la ciudad pertenece a la red de Ciudades Líderes de Movilidad Urbana Sostenible llamada Musal compuesta por 25 ciudades de 9 países de América Latina. Esta red reconoció a Medellín por la integración intermodal de sus sistemas de transporte como el metro, metrocable, metroplus, bicicletas y tranvías, sistemas que han ayudado al desarrollo social y económico de la ciudad y a la reducción de la contaminación. La ciudad está trabajando en la creación de espacios al peatón y en incrementar los kilómetros de ciclorrutas, todo esto integrado hacia un transporte incluyente y sostenible con el ambiente.

Por su parte en Colombia al igual que en la mayoría de países latinoamericanos se proyecta un incremento de la renta de la población, esto se traduce en el aumento de la cantidad de automóviles y motos logrando uno de los anhelos de las personas: el de ampliar su libertad desplazándose a donde quiera cuando quiera con la adquisición de un vehículo privado. Pero este aumento en el parque automotor traerá consigo enormes efectos en el patrón de desarrollo de las ciudades, deteriorando la calidad de vida de los ciudadanos y la sostenibilidad urbana porque aumentará la congestión, la accidentabilidad y la contaminación.

Hoy en día las ciudades colombianas están apoyadas principalmente en el transporte público para la movilización de la población por la densidad que presentan las mismas; sin embargo con el transcurso de los años y el aumento

---

<sup>1</sup> Llano Gala. Safe city. Medellín Movilidad Sostenible. Disponible en internet: <http://safecitying.com/medellin-movilidad-sostenible/>

de los vehículos privados se espera que las personas se trasladen a los suburbios buscando tranquilidad, espacio y aire libre lo que impulsara un crecimiento de las ciudades más allá de las zonas municipales disminuyendo de manera considerable el uso del transporte público ya que se dificultaría la efectividad de las rutas por sus extensas longitudes, por esto se empezaría a depender del automóvil privado.

Por lo tanto, es un reto para las ciudades grandes incentivar el uso del transporte masivo y mostrar a la población los impactos negativos de la utilización indiscriminada del vehículo, también se deben tener en cuenta los automóviles eléctricos, los cuales disminuyen considerablemente la emisión de gases contaminantes a la atmosfera.

## **2.4 CONTEXTO LOCAL**

En el área metropolitana para la década de los 80 y teniendo en cuenta el crecimiento poblacional, el uso del automóvil se intensificó y se empezaron a gestionar grandes obras viales ya que era el municipio de Bucaramanga el que proveía servicios de salud y educación a los municipios aledaños. En esta época entraron en operación los colectivos o microbuseras que tenían asientos para dos personas y una registradora para el cobro del pasaje.

Debido a este crecimiento de la ciudad y a la integración con los municipios vecinos es necesaria la implementación de un Sistema de Transporte Masivo. El transporte público de la ciudad antes de la implementación del Sistema Integrado de Transporte Metrolínea, Bucaramanga y su Área Metropolitana contaba para el transporte urbano con buses, busetas y microbuses, de empresas como Unitransa, Cotrander, Transcolombia, entre otras.

Para el año 2010 Metrolínea entró en funcionamiento con una inversión total de 1.018.632 millones (a pesos constantes del 2008), con aportes de entidades públicas, nacionales y locales. Inversión que se destinó a la construcción y adecuación de 136,7 km de vías, la consecución de 368 vehículos y la construcción de 86 estaciones de transferencia.<sup>1</sup> La gestión del sistema está a cargo de Metrolínea S.A. y el recaudo de Inteligente S.A. (T.I.S.A.). Hay dos operadores: Metrocinco Plus S.A. y Operadora de Transporte Masivo Movilizamos S.A.

Actualmente está en funcionamiento en los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Piedecuesta el Sistema Integrado de Transporte Metrolínea, SITM. Este sistema está diseñado para suplir la demanda de transporte público de la ciudad, mejorar la movilidad vehicular y reducir la contaminación generada por los anteriores sistemas tradicionales de transporte público que se utilizaban en Bucaramanga y su área Metropolitana, los cuales generaban enormes cantidades de Hollín.

Según el documento Conpes 3552, la implementación del SITM deberá tener diferentes beneficios como lo son el mejoramiento en la accesibilidad y la calidad de vida de los ciudadanos ya que disminuirán los niveles de ruido, la congestión y las altas tasas de accidentabilidad, también habrá una reducción en los tiempos de viajes lo que permitirá una mayor disponibilidad de tiempo para el desarrollo de otras actividades. Además, con la implementación de un medio de transporte más inteligente adaptado a combustibles más limpios, se esperan reducir las emisiones de GEI y contribuir al mejoramiento de la salud de la población.

Se puede concluir que el SITM debe establecer los cimientos del cambio, hacia la sostenibilidad, en los cuales se tendrá que potenciar la accesibilidad y disminuir la movilidad motorizada. Los SITM mejoran la calidad de vida en términos ambientales y sociales, pero ello solo es posible mediante medidas que

---

<sup>1</sup> RODRÍGUEZ, J. C. y DÍAZ, J. A. 2014. Evaluación de impacto del sistema de transporte Metrolínea: revisión de metodologías. *Equidad & Desarrollo* (22), pág.121-135.

desestimulen la utilización del automóvil,<sup>1</sup> siendo este el principal contaminante. Además, se espera para la ciudad de Bucaramanga la implementación de una red de cicloruta y espacios de estacionamientos para bicicletas, también una red estratégica peatonal, e incentivar el uso del transporte público para reducir la contaminación del aire.

---

<sup>1</sup> RUEDA, N; GONZALEZ, J. Impacto por externalidades del Sistema Integrado de Transporte Masivo del área metropolitana de Bucaramanga. Universidad Santo Tomas. Pag. 62

### 3 HUELLA DE CARBONO Y SISTEMAS DE TRANSPORTE

#### 3.1 EFECTO INVERNADERO

El efecto invernadero es el fenómeno natural que permite a nuestro planeta mantener las condiciones necesarias para albergar vida manteniendo la temperatura constante por largos periodos de tiempo. “Casi la mitad de la radiación solar que llega a la atmosfera penetra la superficie de la Tierra, mientras el resto es reflejado por la misma atmosfera y retorna al espacio o es absorbida por partículas de polvo. La energía solar que entra a la Tierra calienta el suelo y los océanos los cuales liberan calor en la forma de radiación infrarroja”<sup>1</sup>. Es decir, la atmosfera captura algunos de los rayos del sol que llegan a la corteza terrestre manteniéndolos dentro para conseguir una temperatura media de 15 grados. Si la atmosfera no atrapara ninguno de estos rayos que rebotan en la superficie, la temperatura media de la tierra sería de 18 grados centígrados bajo cero.

La atmosfera está compuesta por diversos gases naturales siendo el nitrógeno, el oxígeno y el argón los que constituyen el 99,93% del total, sin embargo, son otros gases como el vapor de agua, el metano, dióxido de carbono, óxido de nitrógeno y el ozono los que tiene mayor incidencia en el efecto invernadero. Además, en la atmosfera también están presentes gases artificiales llamados clorofluorocarbonos. En la proporción adecuada estos gases cumplen con su objetivo, pero al aumentar su concentración por obra del hombre la atmosfera retiene más calor del necesario provocando el aumento de la temperatura, el deshielo de los polos, la desertificación, incendios, tormentas e inundaciones.

---

<sup>1</sup> RODRÍGUEZ, M; MANCE, H; BARRERA, X; GARCÍA, C. Cambio climático: lo que está en juego. Foro Nacional ambiental.2009. Pag 12.

Los gases de efecto invernadero aumentan por la quema de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y gas natural, la deforestación de bosques y destrucción de ecosistemas marinos que absorben el dióxido de carbono y el aumento de una población que cada vez consume más recursos naturales.

La tierra necesita un porcentaje o cantidad de Gases Efecto Invernadero en la atmosfera para la subsistencia de la vida en ésta, sin embargo, las concentraciones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso han ido aumentando desde el inicio de la Revolución Industrial. Por esta razón desde 1750 se ha sentido el calentamiento global neto y continuará creciendo debido a las emisiones de GEI producidas por las acciones humanas especialmente por el consumo de petróleo y carbono que emite dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

“Cada uno de los GEI tiene diferente forma de atrapar el calor solar que devuelve la Tierra en forma de radiación infrarroja. El vapor de agua es el más potente de los gases, por ejemplo, en un día soleado este puede explicar el 65% del efecto invernadero, se debe tener en cuenta que su mayor parte no es producida por el hombre ni se puede controlar directamente, ya que, cuando la temperatura sube, la evaporación y las concentraciones de vapor de agua aumentan”<sup>1</sup>, por esta razón este gas no es contemplado en los proyectos de mejoramiento del cambio climático.

Después del vapor de agua, el CO<sub>2</sub> contribuye con el 25% del total del efecto invernadero producido por la acción humana, esto se produce como consecuencia del consumo de los combustibles fósiles y de la deforestación, ya que la quema de árboles y la descomposición después de ser talados emite CO<sub>2</sub>.

Por su parte, las emisiones de metano se producen a consecuencia de actividades agropecuarias y ganaderas; agropecuarias en el cultivo de arroz por los procesos de descomposición orgánica en las aguas de inundación y las ganaderas por la cría de ganado y la emisión producida por el proceso digestivo

---

<sup>1</sup> RODRÍGUEZ, MANCE, BARRERA y GARCÍA, C. Op. Cit. Pag 14.

y las heces. Y las emisiones de óxido nitroso se derivan del uso de agroquímicos en la agricultura.

A pesar de que los fluorocarbonados tengan una concentración en la atmósfera relativamente menor su poder al capturar la radiación es mucho mayor. Mientras que el CO<sub>2</sub> es un GEI de menor potencia que todos los anteriores, su abundancia en la atmósfera y su incremento en los últimos años hacen que este gas de efecto invernadero sea el principal responsable del calentamiento global porque se estima que la concentración en la atmósfera de este gas ha crecido desde la época industrial de 280 partes por millón (ppm) a 387 ppm en 2009.

Las emisiones no afectan únicamente al país en donde se producen, sino que tienen un efecto global, y la tierra solo cuenta con una capacidad limitada de absorción de CO<sub>2</sub> por medio de los océanos, la vegetación, el suelo y los depósitos subterráneos. Las plantas terrestres y marítimas absorben el CO<sub>2</sub> a través del proceso de la fotosíntesis con el cual las células obtienen energía. Es un proceso donde los seres vivos con clorofila captan energía luminosa y transforman el agua y CO<sub>2</sub> en glucosa, liberando también oxígeno. El problema está en que existe una cantidad mayor de dióxido de carbono en la atmósfera que los sumideros naturales no están en capacidad de captar.

El problema ambiental sigue creciendo de una manera indiscriminada. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) la temperatura de la Tierra se incrementó en 0,74°C en un periodo contemplado entre 1906 y 2005 y si continuamos con el ritmo que llevamos la Tierra sufrirá un aumento de 4°C antes del 2055; esto está directamente relacionado con el aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, pero este nivel de aumento del calentamiento global dependerá de las acciones del hombre y las medidas que tome para reducir las emisiones de GEI producidos por el desarrollo económico, problemática que en este siglo está tomando más conciencia y por la cual se espera un cambio positivo que beneficie a la sociedad y a todo el planeta.

Uno de los problemas del calentamiento global es que se percibe como un acontecimiento a futuro o que solo está afectando a unos cuantos animales que habitan en el Ártico, sin embargo, esto es una realidad actual que no solo trae consigo efectos ambientales, sino también sociales y económicos para todo el planeta. “Un ejemplo claro de esto se presentó en el año 2003 donde más de 35.000 europeos, mayoría de ellos franceses, españoles e italianos murieron a causa de una ola de calor que agravó enfermedades existentes y acentuó los impactos de la contaminación. Según la Organización Mundial de la Salud, el cambio climático causa aproximadamente 150.000 muertes por año”.<sup>1</sup> También actualmente los huracanes, las sequias o lluvias torrenciales amenazan con la destrucción de todas las especies.

La diversidad de especies vegetales y animales es muy importante en el funcionamiento de los ecosistemas que regulan el aire y el agua y además de esto, nos proporciona beneficios sociales, culturales y económicos porque nos dotan de medicinas, textiles, alimentos y biomasa. Por esta razón, es grave que la tasa de extinción de especies se haya acelerado drásticamente en los últimos años desapareciendo unas ochocientas especies y once mil encontrándose en amenaza. Todo esto debido principalmente a la destrucción de los hábitats naturales, ya que los bosques tropicales están desapareciendo por la deforestación. Otra causa es la fragmentación, pasar de extensas áreas de tierra a zonas divididas por carreteras, cultivos, áreas urbanas, etc. obstaculiza el desarrollo natural de un todo como lo son los ecosistemas; también la aparición de la agricultura industrial basada en la especialización y en el uso desmedido de fertilizantes y pesticidas genera una reducción de especies, especialmente de insectos, sin dejar de lado la contaminación de las aguas y la atmosfera, y la caza, la pesca excesiva.

Según un informe sobre la economía del cambio climático elaborado para el gobierno británico por el economista Nicholas Stern, se prevé que si el aumento de las emisiones de dióxido de carbono y otros gases continúan en acenso la

---

<sup>1</sup> RODRÍGUEZ, MANCE, BARRERA y GARCÍA. Op. Cit. Pag 19.

temperatura media global aumentara en 5° C aproximadamente en relación a la época preindustrial, generando una disminución en el PIB mundial de 5% anual, lo cual afectaría el bienestar económico de todas los países especialmente de los países en vía de desarrollo, por esta razón la meta planteada por la Unión Europea y por los Estados Unidos es evitar un aumento de la temperatura de más de 2°C en relación con el periodo preindustrial, es decir un aumento de 1,2°C con respecto a la temperatura actual.

Por su parte, la tecnología para enfrentar estos problemas ambientales ya existe, y su uso no sería como muchos piensan el responsable de un declive económico sino al contrario no asumir esta problemática presenta y presentará enormes afectaciones en la economía global. Las actividades que más generan GEI son la generación de electricidad, el uso del suelo, la industria, la agricultura y el transporte. Sin embargo, es posible reducir las emisiones de estos procesos, como en el caso de la generación limpia de electricidad las fuentes renovables que no emiten CO2 son:

- Eólica: la cual es producida por el viento, esta no emite sustancias tóxicas, ni contaminan el aire ni el agua, a diferencia de los combustibles fósiles y de las centrales nucleares, entonces por su parte la energía eólica presenta un consumo de agua más bajo preservando las fuentes hídricas.

“La energía eólica suministra actualmente más del 3% del consumo mundial de electricidad y se espera que para 2020 se supere el 5%. A más largo plazo (2040), la Agencia Internacional de la Energía prevé que la energía del viento pueda cubrir el 9% de la demanda eléctrica mundial y más del 20% en Europa”.<sup>1</sup>

- Solar: la cual es producida por la luz, o el calor del sol para la generación de electricidad o la producción de calor. Esta es una energía inagotable y

---

<sup>1</sup> Acciona. Energía eólica. Disponible en: <http://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/>

renovable, pues procede del sol, y esta se obtiene por medio de placas fotovoltaicas, en algunos países se está implementando para generar la electricidad doméstica.

- Gas natural: este es el combustible fósil más limpio porque produce 45% menos de emisiones que el carbón y 30% menos que el petróleo.

Para el caso de un transporte eficiente y sostenible como alternativas se encuentran<sup>1</sup>:

- Transporte público: estos sistemas de transporte masivo emiten menos GEI por pasajero que los carros más eficientes. Por ejemplo, en Dinamarca se implementó un impuesto de 250% sobre el valor del automóvil particular y en otros países ha incrementado los costos de parqueo para disminuir el uso de estos en días de trabajo.
- Carros eficientes: son carros más pequeños pero eléctricos, híbridos y accionados por hidrogeno.
- Disminuir los viajes a larga distancia: los viajes marítimos y aéreos para transporte de mercancías siguen en crecimiento, se espera una reducción en estos para además de contribuir en la mejora del medio se incrementa el mercado local y las comunicaciones virtuales.

Con lo que respecta a la agricultura su aporte a la disminución de GEI consiste en:

- Uso correcto de fertilizantes: Con esto se refiere a evitar el sobre uso de los fertilizantes y establecer la medida necesaria para cada cultivo.

---

<sup>1</sup> RODRÍGUEZ, MANCE, BARRERA y GARCÍA. Op. Cit. Pag.33

- Alimentación animal: Se descubrió que al añadir cierta cantidad de ácido en los alimentos del ganado se podría evitar un 70% de emisiones de metano, es decir, hasta 400 litros de metano por vaca/día.
- Detener la quema de residuos vegetales: para cosechar la caña de azúcar con frecuencia se quema la biomasa, los residuos vegetales antes de la siembra de diversos productos o pastizales de las sabanas porque los retoños sirven de alimento al ganado. Estas actividades deben ser eliminadas porque generan en su quema partículas nocivas en el aire.

Además, se debe generar de manera inmediata un cambio en el uso del suelo, para esto se podría:

- Evitar la deforestación: Mientras que existen cantidad de compradores de madera generando grandes ingresos en este mercado, no existen incentivos económicos directos para cuidar los bosques, las cuencas hídricas, la biodiversidad, los paisajes, la captura de carbono, etc.

Entonces, es importante generar incentivos que eviten una deforestación indiscriminada en el mundo; por ejemplo, 50.000 propietarios rurales de Costa Rica reciben un pago anual por conservar los bosques de sus fincas, como reconocimiento económico por el valor de los servicios ambientales de protección de las aguas, conservación de la biodiversidad y la captura de carbono. También, en Colombia, la sociedad de cañicultores del Valle del Cauca ha destinado recursos económicos a los campesinos que viven en la cordillera para proteger y restaurar los bosques protectores de las cuencas. Procesos que aportan y enseñan el cambio que se debe emprender en todas las regiones a nivel mundial.

- Limpiar el comercio: La tala ilegal de madera es una de las causas principales de la deforestación en el mundo. En nuestro país, la mitad de

la madera en el mercado es de origen ilegal, esto amenaza los bosques tropicales, y los parques nacionales, como por ejemplo El Cocuy y Los Katios. Por esta razón es necesario y urgente que en este mercado se aseguren que la madera sea de plantaciones renovables y no de bosques primarios.

- Sembrar nuevos bosques: Talar árboles sin una eficiente reforestación genera daños en el hábitat, pérdida de biodiversidad y aridez. Por esto es importante que junto con una tala de árboles organizada y legal vaya de la mano una reforestación acorde con el ecosistema y sus necesidades.

Según el Informe Stern, el cual es un informe sobre el impacto del cambio climático y el calentamiento global sobre la economía mundial, se estima que generar nuevas tecnologías para mitigar las consecuencias del cambio climático costaría 1% del PIB global, con un margen de error de más o menos 3%. Es decir, US \$1 billón, dinero que no perturbaría el normal desarrollo de la economía mundial. Por el contrario, el costo por no implementar ninguna medida sería del 5% del PIB global cada año.

La implementación de estas nuevas tecnologías, de incentivos, etc. no solo combatirá contra la contaminación global, sino que también traerá enormes beneficios en la salud de las personas. Según la Organización Mundial de la Salud, tres millones de personas mueren cada año debido a las emisiones que se producen en los sectores del transporte y la industria, y 1,6 millones más por el uso de combustibles como la leña. Por su parte, en Colombia según un estudio del Banco Mundial, el material particulado generado por los vehículos causa 6.000 muertes prematuras cada año. Estas cifras pueden disminuir significativamente con la llegada de nuevas tecnologías eficientes y sostenibles con el ambiente.

También se tendría una seguridad energética, ya que depender solo de los combustibles fósiles nos hace vulnerables a problemas de abastecimiento, de incrementos excesivos en los precios, además de que los países exportadores

siempre presentan problemas políticos. Por eso diversificar las fuentes de energía y aprovechar las fuentes renovables nos permitiría solventar estas adversidades y contribuir al mejoramiento económico, social y ambiental.

### **3.2 HUELLA DE CARBONO**

“El cambio climático es uno de los indicadores, junto a la crisis económica, de la insostenibilidad de un modelo de desarrollo basado en el principio de obtener el máximo beneficio en el menor tiempo posible, sin cuidar la base de nuestro sustento ni ocuparnos de la redistribución de la riqueza.”<sup>1</sup> Vivimos en un mundo en el cual prima el individualismo, el consumismo, la explotación desmedida y la falta de solidaridad hacia el prójimo y hacia el planeta Tierra, sin tener en cuenta que dependemos de estos para la subsistencia. Todas estas acciones generaran pobreza, hambruna, daños en la salud de las personas, entre otras.

El efecto del cambio climático requiere de medidas drásticas que involucren una educación ambiental para toda la sociedad concientizándolos de la responsabilidad de disminuir los impactos de sus actividades diarias, tomando medidas frente a la mitigación y la adaptación a los problemas ambientales que se están generando. La problemática es tan grande que las empresas y países deberían reportar un inventario anual de gases efecto invernadero para poder calcular la huella de carbono y buscar estrategias de mitigación o compensación que amortigüen el efecto.

Hacer este tipo de cálculos hoy en día es posible gracias a que en los años noventa, William Rees y Mathis Wackernagel, ecologistas y expertos en sostenibilidad de la Universidad de British Columbia, crean el concepto de huella ecológica como una herramienta contable que permite estimar los requerimientos en términos de recursos relacionados con la tierra y el agua, y la

---

<sup>1</sup> RIPA, J. El cambio climático: Una realidad. 2011. Editorial Viceversa. Pág. 19.

asimilación de los residuos para satisfacer las necesidades de una determinada población, entidad, región o país, expresadas en áreas productivas globales.

También, elaboraron una metodología para el cálculo la cual implementaron en países desarrollados concluyendo que estos presentaban enormes déficits ecológicos porque dependían de otros países para saciar la carencia de recursos necesarios. Este concepto fue diseñado para medir la sostenibilidad ecológica con el propósito de estimar la magnitud del consumo humano que excede la capacidad de regeneración de la Biosfera.<sup>1</sup>

Esta huella ecológica se compone de subhuellas, entre ellas la que presenta un efecto directo y significativo sobre el cambio climático es la huella de carbono, la cual tiene una participación del 50 % dentro de la huella ecológica. Este indicador de la huella de carbono es una herramienta que permite determinar la cantidad de emisiones de Gases Efecto Invernadero (representado en toneladas de Dióxido de Carbono, CO<sub>2</sub>) que genera la tierra derivados de las actividades humanas, de producción y consumo de bienes y servicios. La huella de carbono tiene el propósito de crear estrategias proactivas camino a la sustentabilidad de las organizaciones y de la sociedad en general.

Poco a poco este instrumento ha tomado más relevancia a nivel mundial y es dirigido por los países comprometidos en la reducción de las emisiones según el Protocolo de Kyoto. Esto ha sido motivado por una de las principales preocupaciones de estos países, que es perder competitividad en el mercado. Primero, porque estarían compitiendo con otros países exportadores con menores costos de emisiones que aquellos que no han implementado las medidas contra el cambio climático y segundo, porque contribuir al mejoramiento ambiental también mejoraría su imagen corporativa ante la sociedad atrayendo más consumidores.

---

<sup>1</sup> SCHNEIDER, H. WACKERNAGEL, M. Op. Cit. Pag.7

Carbón Trust, empresa que ayuda a las corporaciones y a los países a reducir las emisiones de carbono y a aumentar la eficiencia de los recursos escasos, define la Huella de Carbono como “las emisiones totales de gases de efecto invernadero en toneladas equivalentes de un producto a lo largo de su ciclo de vida desde la producción de las materias primas empleadas en su producción, incluso la eliminación del producto acabado”<sup>1</sup>. Aunque no se ha podido establecer una fórmula general para su cuantificación, ya que en algunos estudios consideran incluir varios Gases de Efecto Invernadero y expresar los resultados en toneladas de CO<sub>2</sub>, mientras tanto en otros prefieren incluir un único gas, el CO<sub>2</sub>. Cualquier tipo de procedimiento tiene como propósito final buscar la reducción y la compensación para un estado “neutro de carbono” lo que significa remover de la atmósfera tanto bióxido de carbono como el que agregamos.

Por ejemplo, en países como Estados Unidos, Francia y Japón mientras que se avanza con el proceso de establecer una definición y metodología concreta acerca de la Huella de Carbono, se han generado procesos de regulación y restricciones respecto al cambio climático como la implementación de impuestos al carbono, e incluir nuevas tecnologías o diferentes alternativas en el sector de la industria, transporte, etc. que sean solidarios con el ambiente y cumplan sus objetivos en cada proceso.

Hay que tener en cuenta que antes de comenzar con el proceso de cuantificación de la huella de carbono se deben establecer las variables a analizar y los niveles de alcance que se quieran establecer dependiendo del propósito de estudio o análisis en las organizaciones. De acuerdo al Protocolo de GEI, para definir los límites operacionales es necesario determinar las fuentes de emisiones que se van a contemplar en la medida. Este Protocolo establece tres ámbitos de emisiones:

---

<sup>1</sup> ESPINDOLA, C; VALDERRAMA, J. Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. 2011. Pág. 167

Ámbito 1: Se refiere a las emisiones directas que produce cada organización, desde fuentes propias o controladas por esta, por ejemplo, derivadas de la quema de combustibles o de procesos químicos.

Ámbito 2: En este caso las emisiones son indirectas, por ejemplo, el calor, la energía, el vapor, aunque sean consecuencia de los procesos de la empresa son producidos o controlados por terceros.

Ámbito 3: Estas también son de carácter indirecto, son todas aquellas emisiones que son consecuencia de los procesos de la organización, pero que no se producen en esta ni por esta, como por ejemplo los insumos, la gestión y disposición de residuos.<sup>1</sup>

Es evidente que, para emprender con el compromiso de presentar informes sobre la huella de carbono en cada entidad, estas deben comenzar con el primer ámbito, que son las emisiones directas para tener como primera medida el total de emisiones de dióxido de carbono que se generan por los procesos de producción o servicio de la entidad y dentro de ella, ya que las empresas cuentan con el total requerido de información. Además, de acuerdo a estos resultados establecer estrategias de reducción de la contaminación en pro del mejoramiento del bienestar social y del cuidado con el entorno.

Ya que el cambio climático, por la importancia de las actividades que lo originan y por sus consecuencias, no sólo constituye un problema ambiental sino, sobre todo, un problema de desarrollo, con profundos impactos potenciales en la sociedad, la economía y los ecosistemas. Mitigar el cambio climático implica limitar y reducir las emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera, a niveles muy inferiores a los que prevalecen en la actualidad. Esta es una tarea que necesita de la participación de todos sobre una base de cooperación y entendimiento de alcance mundial. Para la sociedad, la mitigación del cambio climático representa un desafío y una oportunidad para introducir patrones más

---

<sup>1</sup> SCHNEIDER, H. WACKERNAGEL, M. Op Cit. .Pag. 17

racionales y sustentables de producción y de consumo, cuyos beneficios se extiendan más allá de sus componentes climáticos.

### **3.3 SISTEMA DE TRANSPORTE**

Como primera instancia, un sistema “es un todo organizado y complejo; un conjunto o combinación de cosas o partes que forman un todo complejo o unitario”<sup>1</sup>. Es decir que cada elemento que conforma este conjunto esta interconectado y presenta una función específica y necesaria para el funcionamiento del mismo.

Se denomina transporte a un sistema formado por múltiples elementos, siendo tres los fundamentales, la infraestructura, el vehículo y la empresa de servicio que viene a constituir la actividad propiamente dicha. Estos elementos están siempre interrelacionados entre sí, pues ninguno de ellos podría ser útil, sin que los otros existiesen<sup>2</sup>.

Las funciones u objetivos específicos de este sistema denominado transporte son los siguientes:

- La conexión que gracias a él se permite entre los distintos sectores productivos entre sí y de estos con los otros centros de consumo.
- El desplazamiento tanto de personas como de mercancías.
- La accesibilidad de los distintos núcleos de población, centros de producción, centros de consumo, etc.

---

<sup>1</sup> BERTALANFFY. Op Cit. Pág 3.

<sup>2</sup> CAMPOS, J; GINÉS, R; NOMBELA, G. Economía del Transporte: Elementos y principios básicos en Economía del Transporte. Universidad de las Palmas de la Gran Canaria. España. 2003. Pág 3.

- La integración territorial y social consiguiendo la unidad de todo el territorio a través de la interconexión de las redes nacionales entre sí y de estas con las del resto del mundo, favoreciéndose de esta forma la cohesión económica y social.
- La productividad mediante el desarrollo de una actividad productiva dentro del país que ocupa a una elevada masa laboral y que contribuye de forma considerable de Producto Interno Bruto (PIB).
- El desarrollo de otras actividades económicas relacionadas con el sistema de transporte, incluyendo aquellas que surgen ya desde su fase de construcción a todas aquellas relacionadas con el mantenimiento y explotación de los distintos modos de transporte.

El mundo siempre ha estado en un constante proceso de globalización, entendida como la integración de las naciones en aspectos tanto político, social, económico, cultural, etc. Lo que caracteriza el actual proceso de globalización es su velocidad, profundidad y la extensión de su impacto, presentada gracias a los grandes descubrimientos tecnológicos, a los procesos de comunicación en los cuales se han reducido las fronteras y al desarrollo del transporte, factores que han integrado más al mundo.

En los últimos años los medios de transporte o comunicación han experimentado grandes cambios, en infraestructura, en tecnología y hasta en rendimiento lo que permite un desarrollo de los países generando en ellos un crecimiento urbanístico, social y económico. La evolución de los medios de transporte ha sido constante debido a las exigencias del hombre por conocer, conquistar, comerciar o atravesar grandes distancias.

Por esta razón se considera que los sistemas de transporte son la columna vertebral de la globalización y todo lo que conlleva este proceso, lo cual ha

permitido un desarrollo y un incremento de la conectividad entre regiones a nivel interno y externo, es decir entre ciudades del mismo país y a nivel mundial, tanto en el transporte de mercancías como de personas. Es por ello, que vivir o no en un lugar con una avanzada infraestructura de transporte es ahora un determinante de buenas condiciones de vida respecto al acceso de bienes y servicios esenciales.

A pesar de que se tiene conocimiento de estos beneficios, “se estima que 1000 millones de personas, o alrededor del 40 % de la población rural en los países, carecen de acceso directo a una ruta vial que pueda utilizarse todo el año”<sup>1</sup> , y las vías a las que sí tienen acceso la población, muchas veces no cuentan con un mantenimiento adecuado que pone en peligro la vida de quienes transitan en ellas al no haber un conocimiento claro del estado de las mismas ocasionado muchas veces por la falta de instituciones encargadas de este aspecto, o la poca vigilancia.

Otro aspecto de vital importancia en la implementación de medios de transporte de personas y de mercancías, tiene que ver con la sostenibilidad del mismo, es decir, si cumple su función siendo amigable con el planeta, y según datos del Banco Mundial “el transporte representa alrededor del 64 % del consumo mundial de petróleo, el 27 % del consumo total de energía y el 23 % de las emisiones mundiales de CO2 relacionadas con la energía”<sup>2</sup>. Así que uno de los retos más importantes en el aumento de conexiones a través del transporte es el de mejorarlos y crear nuevas tecnologías que no perjudiquen a generaciones futuras.

---

<sup>1</sup> BANCO MUNDIAL. Transporte: Resultados del Sector. 2014. En: <http://www.bancomundial.org/es/results/2013/04/14/transport-results-profile>

<sup>2</sup> Ibíd.

### 3.4 HUELLA DE CARBONO EN SISTEMAS DE TRANSPORTE

Como se ha venido exponiendo en el transcurso de la investigación uno de los sectores que más contribuyen en el deterioro del planeta es el sector del transporte, por la cantidad exuberante de emisiones de Dióxido de Carbono que arroja a la atmosfera. Por esta razón es importante comenzar a desarrollar alternativas de mitigación o compensación de las emisiones y para esto primeramente se debe tener los resultados sobre la huella de carbono sustentada en información clara y datos confiables de la organización como el registro de consumo de combustibles fósiles en un año.

Ya que los combustibles fósiles en cualquiera de sus estados, sólido, líquido y gaseoso, son una de las fuentes de energía más utilizadas a nivel mundial para el crecimiento de las naciones en sus procesos industriales con el uso de gas natural, y de gasolina y diésel en el sector transporte, han generado que estos combustibles sean una de las principales fuentes de emisiones de GEI. Por ejemplo, en Colombia según la Agencia Internacional de la Energía se tiene un consumo de energía proveniente de combustibles fósiles de aproximadamente un 76% del total<sup>1</sup>; lo que significa que la nación es fuertemente dependiente de este recurso no renovable.

El beneficio de implementar el indicador de la huella de carbono es que a través de sus resultados se puedan conocer con claridad las necesidades y los problemas que tiene cada organización y de esta manera establecer la cantidad de estrategias y la intensidad que cada una debe tener para generar un verdadero cambio tanto en la organización como en el entorno. Por lo tanto, si se realizan medidas acordes con la problemática como otras alternativas o restricciones, los resultados en la parte ambiental se reflejarían en la reducción

---

<sup>1</sup> Fundación Natura. Guía para los inventarios organizacionales de emisiones de GEI por uso de combustibles fósiles en actividades industriales y comerciales; Rodríguez, W; Villalba, D; Saavedra, F. Bogotá D.C. Colombia, Fundación Natura; CAEM. 2016.

de los impactos en el cambio climático; mientras que en la organización se disminuiría la dependencia hacia los combustibles fósiles optimizando sus recursos y generando en definitiva una reducción en los costos de operación.

En el caso del transporte en Colombia es totalmente evidente la cantidad de humo y partículas nocivas que son arrojadas al aire y que impactan directamente en nuestra calidad de vida, y en nuestra salud, sobre todo estos casos se evidencian en los buses de transporte público antiguos. Por eso al momento de referirnos a las restricciones que se deben tomar hay que empezar con una vigilancia constante sobre las revisiones técnico mecánicas de estos vehículos, sacando del sector aquellos que no cuenten con condiciones óptimas.

En el sector del transporte existen variedad de alternativas para reducir el consumo de combustible en los vehículos, algunas de estas recomendadas por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía IDAE son las siguientes<sup>1</sup>:

- Reducción de los kilómetros recorridos: Esto se logra mediante la optimización de las rutas teniendo en cuenta criterios como la distancia, el tráfico y las horas pico, con esto se reduciría la cantidad de combustible, de emisiones y se generaría un sistema más eficiente beneficiando a la empresa. Hoy en día existen software y aplicaciones móviles al alcance de todas las personas que permiten optimizar las rutas en tiempo real ahorrando tiempo y combustible. También, otra medida que permite ahorrar kilómetros es que en los procesos de carga de mercancías o de personas estos vehículos estén lo más cercano al 100% de su capacidad, ya que si no están casi al tope de su capacidad serian considerado como un gasto improductivo para la compañía, esto se logra a través de una logística y un planeamiento estructurado y organizado.

---

<sup>1</sup> Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía IDAE; Gestión del Combustible en las Flotas de Transporte por Carretera; Madrid (España); 2006; disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10232\\_Guia\\_gestion\\_combustible\\_flotas\\_carretera\\_06\\_32bad0b7.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10232_Guia_gestion_combustible_flotas_carretera_06_32bad0b7.pdf)

- Mantenimiento: Se deben realizar mantenimientos periódicos a los vehículos para mantener un buen estado de los motores, esto permite evitar consumos excesivos de combustible, ahorrando costos y evitando exuberantes cantidades de emisiones.
- Adquisición de vehículos: Comprar o mantener vehículos en la entidad que sean acordes con un pronóstico o un historial acerca de la cantidad de carga de mercancía que estos transportan para no incurrir en gastos innecesarios, es decir no comprar vehículos con una capacidad de carga muy superior a la que se va a usar, ya que son vehículos más grandes que requieren de más costos y de más cantidad de combustible.
- Conducción eficiente: Se debe capacitar de la mejor manera a los conductores, conocer las características del motor para mantener un número de revoluciones acordes a este y obtener un mayor rendimiento, también mantener una velocidad estable en la circulación sin frenar inesperadamente y arrancar el motor sin pisar el acelerador, son estrategias que permiten de a poco ahorrar combustible, pero que son cambios que si se hacen constantemente generan resultados significativos.

### **3.5 POLITICAS Y NORMATIVAS**

La convención del marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), acordada en 1992, fue el primer acuerdo internacional importante para combatir el cambio climático. Ratificada por 196 países<sup>1</sup> entre ellos todos los países que conforman la Unión Europea. Para el año de 1997 esta Comisión fue complementada con el protocolo de Kyoto, el cual entro en vigor en el año

---

<sup>1</sup> COMISION EUROPEA. Acción por el clima. 2014 Pag. 9. Disponible en: <https://www.fespugtmadrid.es/wp-content/uploads/2014/12/ACCI%C3%93N-POR-EL-CLIMA-2013.pdf>

2.005 y consiste en un tratado internacional que establece obligaciones a los países desarrollados con el fin de limitar las emisiones de Gases Efecto Invernadero, específicamente de los siguientes tipos de gases: Dióxido de Carbono, Metano, Óxido Nitroso y los Hidrofluorocarbonados.

Sin embargo, el Protocolo de Kyoto ha provocado fuertes críticas porque no ha cumplido con los objetivos o cambios ambientales esperados. Por ejemplo, no se incluyen todos los países, no se están teniendo en cuenta los países en desarrollo, aunque producen emisiones de GEI significativas. Además, las metas que se tienen son muy pequeñas en comparación con los cambios que se necesitan, no se incluye las emisiones del transporte aéreo ni marítimo, teniendo en cuenta que crecen en gran medida y de que sus emisiones son bastante considerables, y tampoco ataca de forma contundente la deforestación.

Por lo anterior, se busca establecer un nuevo acuerdo mundial que sea incluyente, es decir en el cual participen tanto los países desarrollados como los países en desarrollo en donde se tengan responsabilidades comunes pero diferenciadas, de acuerdo a las condiciones de cada país. Por su parte la UE es el mayor proveedor de ayuda al desarrollo y financiación de medidas en contra de la contaminación, ayudando a los países en desarrollo sobre todo a los más pobres y vulnerables para reducir sus emisiones y adaptarse a los cambios actuales y futuros del clima.

La UE por su parte se ha ofrecido a reducir sus emisiones de GEI para el 2020 en un 20% y 30% en comparación con la época de 1990 siempre y cuando los países más contaminantes a nivel mundial como Estados Unidos y China también se comprometan en la reducción del calentamiento global, esto con el fin de evitar un aumento en la temperatura media mundial de 2° C en relación con la época preindustrial o alrededor de 1,2° C en relación a la época actual. Además, en el 2014 se trazaron nuevos objetivos como una cuota mínima de 27% de energía procedente de fuentes renovables y una mejora mínima del 27% en eficiencia energética esto para el año 2030.

La hoja de ruta de la Comisión para avanzar hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050 y el Libro Blanco sobre el transporte señalan que el sector del transporte en su conjunto debería reducir para 2050 sus emisiones de CO<sub>2</sub> en un 60 % aproximadamente con respecto al nivel de 1990. De aquí a 2030, con el fin de apoyar los objetivos del marco de la política climática, el objetivo consistirá en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del transporte cerca de un 20 % con respecto al nivel de 2008.<sup>1</sup> Para esto, se deben buscar sistemas de transportes más eficientes y sostenibles mejorando la eficiencia en el consumo de combustible mediante la innovación en motores, materias y diseños.

Los países de la UE trabajan constantemente para evitar el calentamiento global, por ejemplo, en el sector transporte se crearon normas anticontaminación europea (EURO) sobre las cuales se diseñan y se construyen los vehículos en la Unión Europea. Las normas hasta el día de hoy son: Euro 0, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 y Euro 6. Al transcurrir de los años desde la creación de la Euro 0 en 1988, la normativa ha evolucionado hasta la tercera etapa de la Euro 6, la Euro 6c, que entró en vigencia en el año 2014, todas estas con el fin de mejorar las condiciones ambientales del planeta, disminuyendo la cantidad de contaminantes nocivos producidos por los vehículos comerciales, es decir, reduciendo las emisiones de GEI.

La norma básicamente lo que dice es que se pueden comercializar vehículos que cumplan con un número determinado de emisión de material particulado, óxido nitroso, hidrocarburo y monóxido de carbono<sup>2</sup>. Además de que en la parte ambiental reduce el material particulado y el óxido nitroso, desde el punto de vista de costos de operación disminuye el consumo de combustible y los costos de mantenimiento.

---

<sup>1</sup> COMISION EUROPEA. Accion por el clima. 2014 Pag. 12. Disponible en: <https://www.fespugtmadrid.es/wp-content/uploads/2014/12/ACCI%C3%93N-POR-EL-CLIMA-2013.pdf>

<sup>2</sup> Dinero. Mercedes Benz le juega a la movilidad sostenible. 2010.

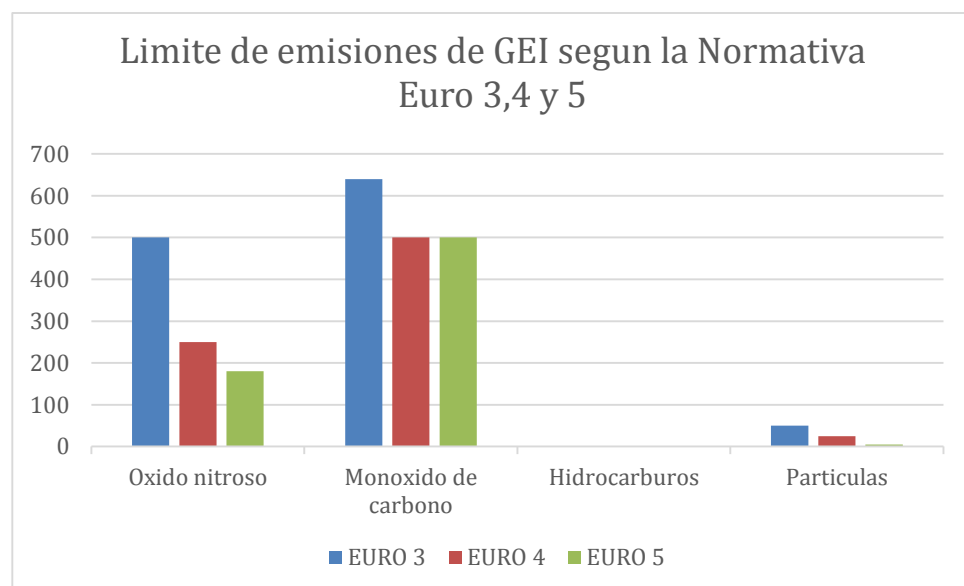
Cuadro 1. Emisiones de GEI mg/km limite permitido según la Normativa Euro 3, 4 y 5 en los coches Diesel.

GEI	EURO 3	EURO 4	EURO 5
Óxido nítrico	500	250	180
Monóxido de carbono	640	500	500
Hidrocarburos	No emiten	No emiten	No emiten
Partículas	50	25	5

Fuente: DELPHI. Worldwide Emissions Standards. Passenger Cars and Light Duty 2016/2017. EU directives. 2018.

En este caso, para los coches Diesel no se emiten Hidrocarburos siempre y cuando se quemara todo el combustible.

Gráfico 1 Limite de emisiones de GEI (mg/km) según la normativa Euro 3, 4 y 5.



La norma Euro 3 exige que los niveles de emisión de óxido nítrico sea 500 miligramos por kilómetros, mientras que la norma Euro 5 exige que la emisión se disminuya a 180 miligramos por kilómetros. Quiere decir que la emisión de material particulado se reduce en un 90%. Así mismo, la reducción del monóxido

de carbono es del 21,87% de la normativa 3 a la 4, pasando de exigir emisión de 640 miligramos/ kilómetros a 500 miligramos/kilómetros.

Con la implementación de cada norma se mejora la calidad técnica y ambiental del vehículo. De esta clase de vehículos están conformadas las flotas de los sistemas integrados de transporte masivo y son proporcionados por la compañía de vehículos Mercedes Benz, por su parte la tecnología Euro 5 fue lanzada en Latinoamérica en la ciudad de Bogotá en uno de los sistemas masivos más importantes que es el Transmilenio.

Particularmente en la ciudad de Bucaramanga la flota de Metrolínea (articulados, padrones y alimentadores) cuenta con 237 buses para el año 2018 los cuales son Euro 3 y Euro 4 distribuidos de la siguiente manera:

Cuadro 2. Tipos y cantidades de buses del SIT Metrolínea S.A.

<b>TIPO DE BUS</b>	<b>EURO 3</b>	<b>EURO 4</b>	<b>TOTAL</b>
Articulado	7	22	29
Padrón	30	72	102
Alimentador	65	41	106

Se puede observar que la mayoría de los buses pertenecen a la categoría Euro 4. Pero, mientras que en los buses articulados y padrones hay más cantidad de vehículos Euro 4 en los alimentadores es mayor la cantidad de buses con la normativa Euro 3.

## 4 METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación busca encontrar resultados cuantitativos para construir el indicador de la huella de carbono del sistema integrado de transporte Metrolínea utilizando el protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GEI), que es una iniciativa liderada por una alianza del sector público y el sector privado convocada por el Instituto de Recursos Naturales (WIR por sus siglas en inglés) y el Consejo Empresarial mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCS por sus siglas en inglés) que “orienta a las empresas en la elaboración del inventario de GEI debido a sus emisiones reales, mediante la utilización de enfoques y principios estandarizados y pone a disposición de las empresas insumos para el planteamiento de estrategias efectivas de gestión y reducción de emisiones de GEI”<sup>1</sup>, mediante un reporte de cantidad de gases GEI emitidos y absorbidos por la atmosfera en un periodo de tiempo determinado.

Para la realización de la investigación se analizó la huella de carbono para el periodo de tiempo comprendido entre 2015 y 2017 con datos de operación encontrados en informes de gestión publicados en la página oficial de Metrolínea [www.metrolinea.gov.co](http://www.metrolinea.gov.co), así como información obtenida de manera directa en conversaciones con el señor Julián Arenas, Gerente Operativo de Metrolínea S.A.

Con el fin de mostrar resultados que sean comparables para los tres años en el sistema y con el sector transporte a nivel nacional observando la contribución de la Huella de Carbono del Sistema Integrado de Transporte Metrolínea al cambio climático para crear opciones de mitigación y reparación; y siguiendo los lineamientos del protocolo de GEI<sup>2</sup>, en primera instancia se debe determinar qué

---

<sup>1</sup> Corporación Ambiental Empresarial CAEM. Guía Metodológica para el Cálculo de la huella de Carbono Corporativa a nivel sectorial. 2013. GHG Protocol. Pág. 18.

<sup>2</sup> IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2015. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Colombia. Bogotá, Colombia.

emisiones se van a tomar en consideración teniendo en cuenta alcances contemplados en el protocolo:

Alcance 1: Emisiones directas de GEI por fuentes controladas por la empresa como lo son emisiones de vehículos, hornos, calderas, etc.

Alcance 2: Emisiones indirectas de electricidad consumida por la organización que no ocurren dentro de la empresa.

Alcance 3: Otras emisiones indirectas generadas por actividades de la empresa pero que no pertenecen ni ocurren dentro de las instalaciones, como lo son los rellenos sanitarios en donde se depositan residuos de la empresa.

Al calcular la huella de carbono de una actividad específica todas las emisiones son de alcance 1 ya que son las que tienen en cuenta emisiones directas producidas por quema de combustibles que en este caso se dan en el sector transporte.

Cuadro 3. Gases de Efecto invernadero generados según sector productivo.

Sector productivo	Fuente de Emisión de GEI	GEI					
		CO2	CH4	N2O	HFC	PFC	SF6
Transporte	Consumo de Combustibles fósiles	X	X	X			
	Consumo de refrigerantes				X		
	Consumo de energía eléctrica	X	X	X			

Fuente: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2015. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Colombia. Bogotá, Colombia. 2015.

Para hallar las emisiones totales de gases de efecto invernadero producidas en una actividad de combustión se deben incluir las emisiones de los diferentes GEI implicados. Como se observa en el Cuadro 1, los gases de efecto invernadero

que contempla el primer alcance para actividades del sector transporte que implican consumo de combustibles fósiles y los que se tendrán en cuenta en la ecuación son Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub>, Metano CH<sub>4</sub>, y Óxido Nitroso N<sub>2</sub>O; los cuales se deben convertir, para efectos de interpretación a CO<sub>2</sub> equivalente con la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones Totales (tCO}_2\text{e/año)} = \text{Emisión CO}_2 \text{ (tCO}_2\text{e/año)} + \text{Emisión CH}_4 \text{ (tCO}_2 \text{ e/año)} + \text{Emisión N}_2\text{O (tCO}_2 \text{ e/año)}$$

Para encontrar la emisión de cada gas (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) expresado en CO<sub>2</sub> equivalente se utiliza la fórmula:

$$\text{Emisión GEI (CO}_2 \text{ Equivalente)} = \text{Dato de actividad (CC)} * \text{Factor de emisión (FE)} * \text{Potencial de Calentamiento global (PCG)}$$

En donde:

**Emisión GEI:** Es la sumatoria de los GEI que emite la actividad expresados en la unidad común CO<sub>2</sub> equivalente que compara la fuerza de radiación del GEI con el dióxido de carbono.

**Dato de actividad:** Es la información en medida cuantitativa con la que se cuenta de la actividad que genera la emisión. En este caso, para la actividad de transporte se utiliza cantidad de combustible utilizado<sup>1</sup>.

**Factor de emisión:** Es un valor representativo que relaciona el gas emitido con la actividad que se asocia a la emisión del gas. Por ejemplo, cantidad de CH<sub>4</sub> generado por el ganado, cantidad de CH<sub>4</sub> generado por cantidad de residuos en un relleno sanitario, y se expresa en peso del gas dividido por la unidad de la actividad que causa las emisiones. Para éste caso se expresa en cantidad de CO<sub>2</sub> generado por cantidad de combustible utilizado.

---

<sup>1</sup> Fundación Natura. Op. Cit. Pág 32.

Para los GEI que se liberan en la actividad teniendo en cuenta que es una fuente móvil y el tipo de combustible los factores de emisión son los siguientes:

Cuadro 4. Factores de emisión combustibles líquidos Colombianos.

<b>Combustible Líquido</b>	<b>fuentes Móviles</b>		
	<b>Factor emisión CO2 (kg CO2/gal)</b>	<b>Factor emisión CH4 (g CH4/Gal)</b>	<b>Factor emisión N2O (g N2O/gal)</b>
<b>Diésel B2</b>	10,149	0,037	0,037

Fuente: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEÍA, 2015. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Colombia. Bogotá, Colombia. 2015.

El sistema integrado de transporte para su operación utiliza tipo de combustible Diesel B2 (sin mezcla biodiesel), donde el factor de emisión del CO2 está expresado en kg y los factores de emisiones del CH4 y N2O expresados en gramos.

Potencial de calentamiento global: También se debe mencionar que para reportar los resultados en la unidad CO2 equivalente se deben multiplicar las emisiones por su Potencial de Calentamiento Global (GWP por sus siglas en inglés: Global Warming Potenciales) que es un valor que expresa el nivel de energía calórica que atrapa en la atmósfera una molécula de GEI en relación a la que atrapa la misma masa de CO2. Es por esto que todos los inventarios de GEI están expresados en la unidad CO2 equivalente (CO2-eq).

Cuadro 5. Potencial de calentamiento global según IPCC

<b>Gas de efecto invernadero</b>	<b>Potencial de calentamiento global</b>
<b>Dioxido de Carbono CO2</b>	1
<b>Metano CH4</b>	28
<b>Óxido Nitroso N2O</b>	265

Fuente: IPCC. Grupo Gubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambio Climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III. Suiza, 2015.

Hay que determinar con qué datos se cuenta para el desarrollo de la ecuación. En este caso, la organización presenta un registro de la distancia recorrida por kilómetros para cada año, con esto junto con el rendimiento del vehículo se puede establecer la cantidad de combustible consumida, variable que utilizaremos en la ecuación para hallar las emisiones de CO<sub>2</sub>e. Entonces, se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Combustible Consumido (CC)} = \frac{\text{Distancia Recorrida Por El Vehículo (Kms)}}{\text{Rendimiento del Vehículo}}$$

Rendimiento: Se refiere a la relación que hay entre la cantidad de kilómetros recorridos por un vehículo y la cantidad de litros consumidos de combustible que emplea para recorrer dicha distancia.

Considerando que no se cuenta con el dato exacto del rendimiento de buses de Metrolinea y que se quiere encontrar las emisiones de GEI de un sistema con buses articulados, para este tipo de buses se toma un rendimiento para la flota diésel es de 5 km/gal. Este valor es el reportado en un estudio desarrollado por la Universidad Nacional, y coincide con los valores registrados en los

documentos de Mecanismos de Desarrollo Limpio MDL del sistema de transporte Transmilenio<sup>1</sup>.

Teniendo los resultados del combustible consumido para los años 2015, 2016 y 2017 se aplica la fórmula para hallar la huella de carbono expresada en CO2 equivalente para los años correspondientes.

Con el total de emisiones de CO2 equivalente para los años 2015, 2016 y 2017 y con el fin de realizar la respectiva comparación con el parámetro de media de emisiones para el sector transporte de 2,69 kg cO2 eq/Lt propuesto por el Grupo Intergubernamental de Expertos por el Cambio Climático<sup>2</sup>, se realizará la conversión de toneladas a kilogramos del total de emisiones de CO2 equivalente de los tres años y luego de realizar la conversión de galones a litros de los tres años, se dividirá en el total de litros consumidos para encontrar el parámetro comparable en kg de CO2 eq/L.

Con lo anterior se pretende abordar el tema propuesto y sacar conclusiones que permitan dar respuesta a si la huella de carbono del Sistema Integrado de Transporte es aceptable en términos de sostenibilidad y si las emisiones de CO2 que genera el sistema son un aporte importante en la contaminación en Colombia, generando recomendaciones para reducir las mismas.

---

<sup>1</sup> GRUPO DE ESTUDIOS EN SOSTENIBILIDAD URBANA Y REGIONAL. Universidad de los Andes. Productos analíticos para apoyar la toma de decisiones sobre acciones de mitigación a nivel sectorial. Sector Transporte. 2014. Pág. 14.

<sup>2</sup> BÓRQUEZ, D. RAMIS, F. Cálculo de Consumo de Combustible y emisiones de CO2 de Camiones Mineros, mediante simulación discreta. Revista Ingeniería industrial. Universidad de Bío Bío. Chile. 2017. Pág 151.

## 5 RESULTADOS

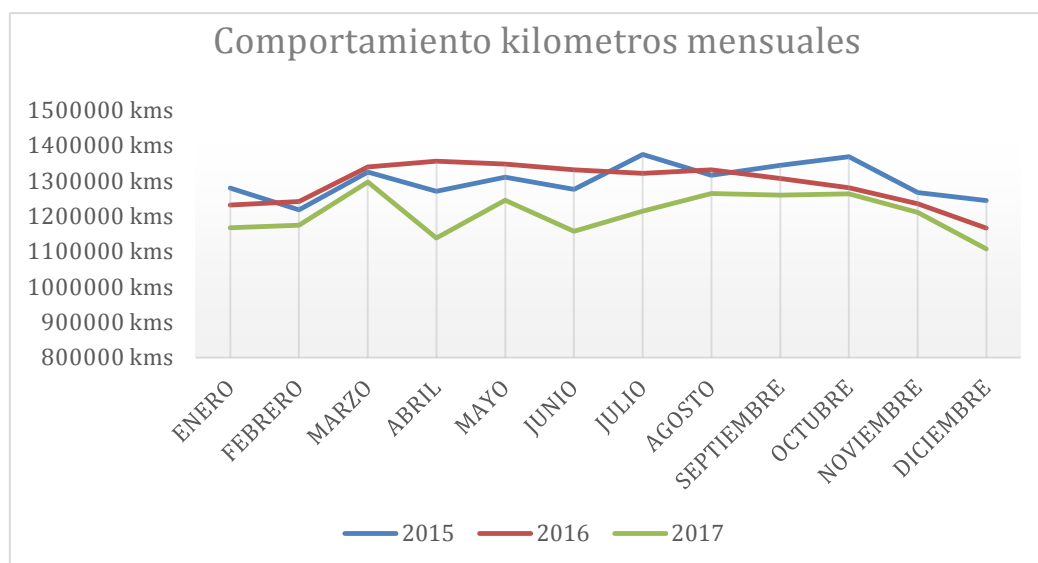
Para aplicar la metodología para hallar la huella de carbono del Sistema Integrado de Transporte Metrolínea se cuenta con que, para los años contemplados entre 2015-2017 el sistema presentó la cantidad mensual de kilómetros recorridos que se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro 6. Kilómetros recorridos mensualmente por Metrolínea años 2015, 2016 y 2017.

<b>Mes</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Enero</b>	1279910 kms	1231972 kms	1167646 kms
<b>Febrero</b>	1218012 kms	1242062 kms	1174454 kms
<b>Marzo</b>	1325104 kms	1339984 kms	1296805 kms
<b>Abril</b>	1270908 kms	1356007 kms	1138685 kms
<b>Mayo</b>	1310279 kms	1348151 kms	1244910 kms
<b>Junio</b>	1276185 kms	1331407 kms	1157417 kms
<b>Julio</b>	1375113 kms	1321444 kms	1214155 kms
<b>Agosto</b>	1316213 kms	1331578 kms	1264091 kms
<b>Septiembre</b>	1343877 kms	1307149 kms	1259614 kms
<b>Octubre</b>	1368289 kms	1280533 kms	1263480 kms
<b>Noviembre</b>	1267280 kms	1235245 kms	1211073 kms
<b>Diciembre</b>	1244493 kms	1166320 kms	1107267 kms
<b>Total</b>	15595663 kms	15491852 kms	14499597 kms

Fuente: RODRÍGUEZ, L. Informe de Gestión tercer trimestre año 2018. Metrolínea S.A. 2018. Disponible en internet: [http://www.metrolínea.gov.co/v3.0/sites/default/files/informe\\_de\\_gestion\\_iii\\_trim\\_2018.pdf](http://www.metrolínea.gov.co/v3.0/sites/default/files/informe_de_gestion_iii_trim_2018.pdf)

Gráfico 2. Comportamiento de kilómetros mensuales recorridos por Metrolínea 2015, 2016 y 2017.



Observando la gráfica, se muestra que, para todos los años, se presenta una reducción de los kilómetros recorridos en Noviembre-Diciembre; que Julio del 2015 es el mes, de todos los años, en el que más kilómetros se recorrieron; y que en el 2017 fue el año en el que menos se recorrieron kilómetros en total.

El indicador Huella de Carbono se expresa en toneladas por lo que también se requiere realizar una conversión a los factores de emisión de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O al tiempo que se unifica la unidad a toneladas.

Cuadro 7. Factores de emisión equivalencia en toneladas.

Combustible Líquido	fuentes Móviles		
	Factor emisión CO <sub>2</sub> (T CO <sub>2</sub> /gal)	Factor emisión CH <sub>4</sub> (T CH <sub>4</sub> /Gal)	Factor emisión N <sub>2</sub> O (T N <sub>2</sub> O/gal)
<b>Diésel B2</b>	0.010149	0,000000037	0,000000037

Fuente: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2015. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Colombia. Bogotá, Colombia. 2015.

Con los datos mencionados, se procede a hacer el cálculo de emisiones totales del sistema integrado de transporte Metrolínea de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> Y NO<sub>2</sub> respectivamente utilizando la fórmula ya mencionada:

$$\text{Emisiones GEI (tCO}_2\text{e/año)} = \frac{\text{CC (gal diésel/año)} * \text{FE (t de CO}_2\text{/gal diésel)} * \text{PCG}}{\text{PCG}}$$

En primer lugar, se debe determinar la cantidad de galones de Diesel B2 consumido, teniendo en cuenta que el rendimiento es de 5 km/gal utilizando la fórmula para hallar el combustible consumido:

$$\text{Combustible consumido CC (gal diesel/ año)} = \frac{\text{Distancia recorrida por el vehiculo (kilometros)}}{\text{rendimiento del vehiculo}}$$

El total de combustible consumido expresado en galones, aplicando la fórmula para cada año con los datos mencionados es:

Cuadro 8. Combustible Consumido años 2015, 2016 y 2017.

<b>Año</b>	<b>Combustible Consumido</b>
<b>2015</b>	3119132,6 gal
<b>2016</b>	3098370,4 gal
<b>2017</b>	2899919,4 gal
<b>Total</b>	9117422,4 gal

Con los datos obtenidos, se aprecia que en el año 2017 se consumió menos combustible, esto teniendo en cuenta que se recorrieron menos kilómetros en este año en comparación con el 2015 y el 2016.

Teniendo el combustible consumido, se aplica la fórmula de Huella de Carbono para cada GEI así:

Para CO2:

$$\text{Emisiones CO2 (tCO2e/año)} = \text{CC (gal diésel/año)} * \text{FE (t de CO2/gal diésel)} * \text{PCG}$$

Cuadro 9. Emisión CO2 equivalente de CO2 años 2015, 2016 y 2017.

CO2				
Año	CC(Galones Diesel B2/Año)	FE(T De Co2/Galones De Diesel)	PCG	Emisiones Co2
2015	3119132,6 gal	0,010149	1	31656,08 ton
2016	3098370,4 gal	0,010149	1	31445,36 ton
2017	2899919,4 gal	0,010149	1	29431,28 ton

Para CH4:

$$\text{Emisión CH4 (t CO2e/año)} = \text{CC (gal diésel/año)} * \text{FE (t de CH4/gal diésel)} * \text{PCG}$$

Cuadro 10. Emisión CO2 equivalente de CH4 años 2015, 2016 y 2017.

CH4				
Año	CC(Galones Diesel B2/Año)	FE(T De Co2/Galones De Diesel)	PCG	Emisiones Co2
2015	3119132,6 gal	0,000000037	28	3,23 ton
2016	3098370,4 gal	0,000000037	28	3,21 ton
2017	2899919,4 gal	0,000000037	28	3,00 ton

Y para N2O:

$$\text{Emisiones N2O (tCO2e/año)} = \text{CC (gal diésel/año)} * \text{FE (t de N2O/gal diésel)} * \text{PCG}$$

Cuadro 11. Emisión CO2 equivalente de N2O años 2015, 2016 y 2017.

<b>N2O</b>				
<b>Año</b>	<b>CC(Galones Diesel B2/Año)</b>	<b>FE(T De Co2/Galones De Diesel)</b>	<b>PCG</b>	<b>Emisiones Co2</b>
<b>2015</b>	3119132,6 gal	0,000000037	265	30,58 ton
<b>2016</b>	3098370,4 gal	0,000000037	265	30,38 ton
<b>2017</b>	2899919,4 gal	0,000000037	265	28,43 ton

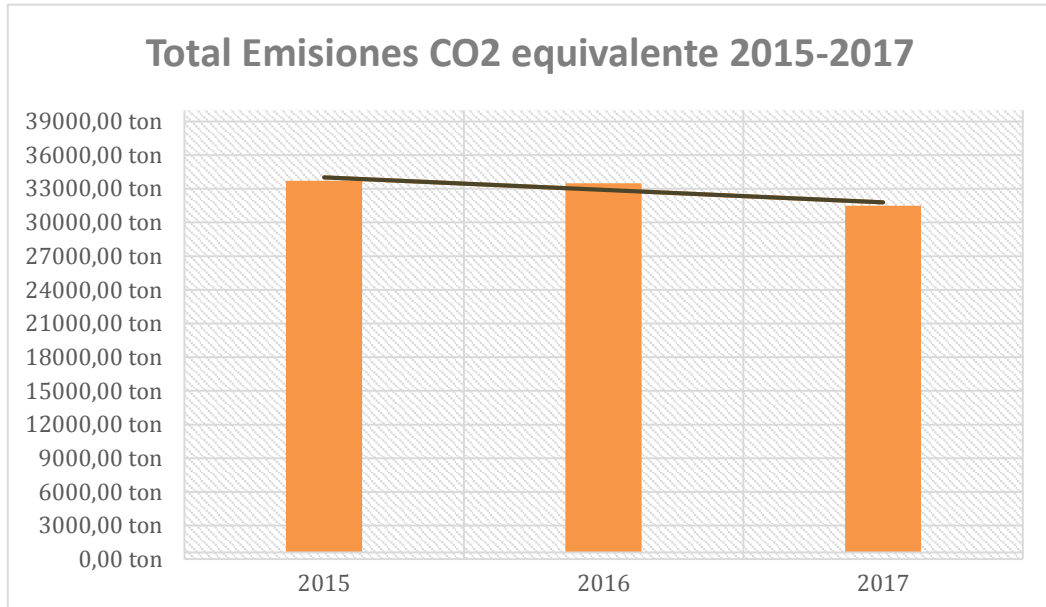
Luego, se suman los valores de las emisiones obtenidas por cada tipo de gas CO2, CH4 y N2O para obtener las emisiones finales de GEI del sistema de transporte para cada año con la fórmula mencionada:

$$\text{Emisiones totales (tCO2e/año)} = \text{Emisión CO2 (tCO2e/año)} + \text{Emisión CH4 (tCO2e/año)} + \text{Emisión N2O (tCO2e/año)}$$

Cuadro 12. Emisiones por tipo de gas y emisiones finales de CO2 equivalente años 2015, 2016 y 2017.

<b>Año</b>	<b>Total CO2</b>	<b>Total CH4</b>	<b>Total N2O</b>	<b>Total CO2 Equivalente</b>
<b>2015</b>	31656,08 ton	3,23 ton	30,58 ton	31689,89 ton
<b>2016</b>	31445,36 ton	3,21 ton	30,38 ton	31478,95 ton
<b>2017</b>	29431,28 ton	3,00 ton	28,43 ton	29462,72 ton
<b>Total</b>	92532,72 ton	9,44 ton	89,39 ton	92631,56 ton

Gráfico 3. Total de Emisiones de CO2 equivalente años 2015, 2016 y 2017.



El total de emisiones para el año 2015 fue de 31689,89 toneladas de CO2 equivalente, para el año 2016 fue de 31478,95 toneladas de CO2 equivalente y para el año 2017 estas emisiones se redujeron a 29462,72 toneladas de CO2 equivalente.

Así, el total de emisiones de CO2 equivalente totales para los años 2015, 2016 y 2017 generadas por los 9'117.422,4 galones de Diesel B2 consumidos por el sistema integrado de transporte Metrolínea fue de 92631,56 toneladas de CO2 equivalente.

Para determinar si el sistema de transporte Metrolínea es o no sostenible en los tres años y haciendo las conversiones correspondientes, se tiene que:

$$\text{Emisión media CO2 eq} = \text{total Kg CO2 eq} / \text{total Litros consumidos}$$

$$\text{Emisión media CO2 eq} = 92'631.560 \text{ Kg CO2 eq} / 34'463.856,67 \text{ Lt}$$

$$\text{Emisión media CO2 eq} = 2,687 \text{ Kg}$$

Comparando el resultado de emisiones obtenido de 2,687 Kg CO<sub>2</sub>/Lt con el parámetro establecido por el Grupo Intergubernamental de Expertos por el Cambio Climático de emisiones medias de 2,69 kg CO<sub>2</sub>/Lt se puede deducir que el Sistema integrado de transporte Metrolínea sí cumple con el parámetro de sostenibilidad propuesto en este trabajo de investigación ya que está por debajo de la media de emisión establecida.

## 5.1 CALCULADORA DE EMISIONES- UPME

Esta calculadora tiene el objetivo de facilitar el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el uso de combustibles fósiles. Como primera instancia hay que ingresar a la siguiente página web: [http://www.upme.gov.co/calculadora\\_emisiones/aplicacion/calculadora.html](http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html), y determinar el tipo de combustible sea sólido, líquido y gaseoso, en este caso se selecciona el combustible líquido, después se arrojaran diferentes tipos de combustibles, la empresa de transporte Metrolínea S.A utiliza para el desarrollo de sus operaciones combustible Diesel B2. Después de esto se agrega el consumo de galones y el resultado es arrojado En Kilogramos de Dioxido de Carbono, también la aplicación pide el porcentaje de exceso de aire el cual es un dato opcional.

Se ingresó el consumo de combustible en galones de gasolina para cada uno de los años en estudio (ver anexo a) y se encontraron los siguientes resultados:

Cuadro 13. Comparación entre el cálculo manual y la calculadora UPME.

AÑOS	TOTAL EMISIONES DE CO <sub>2</sub> e EN TONELADAS	
	CALCULO MANUAL	CALCULADORA UPME
2015	31689,89 ton	31656,01 ton
2016	31478,95 ton	31445,30 ton
2017	29462,72 ton	29431,22 ton

Para compáralo con las ecuaciones manuales realizadas anteriormente tenemos que convertir el total de emisiones de CO<sub>2</sub>e de kilogramos a toneladas. En general, para todos los años la relación entre el cálculo manual y el cálculo realizado por el instrumento tecnológico de la calculadora UPME arrojo datos muy cercanos, lo que permitió tener un soporte más significativo sobre la veracidad de los resultados obtenidos.

## 5.2 APROXIMACIÓN AL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE METROLINEA PARA EL AÑO 2018 (ENERO-SEPTIEMBRE)

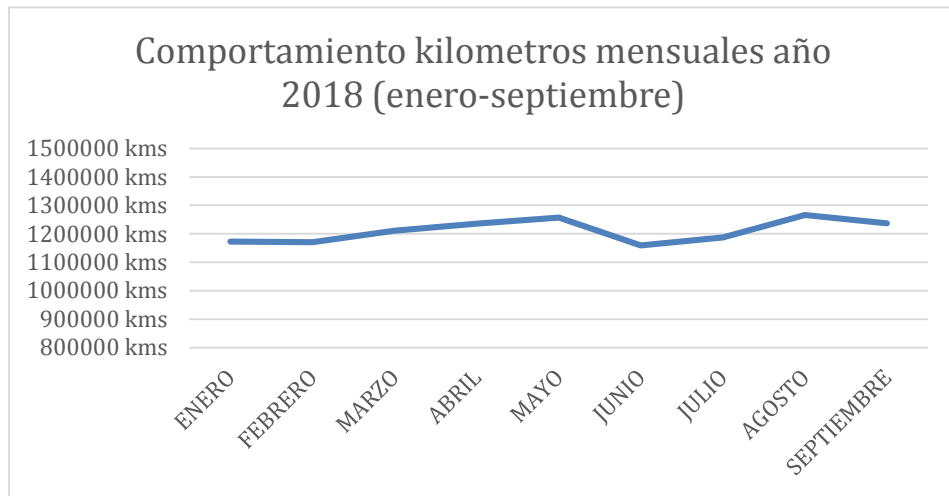
Para el año 2018 se encontraron datos de Enero a Septiembre que permiten hacer una aproximación al cálculo de la huella de carbono para este año teniendo en cuenta datos de kilómetros recorridos:

Cuadro 14. Kilómetros recorridos mensualmente por Metrolinea año 2018 (Enero-Septiembre).

<b>Mes</b>	<b>2018</b>
<b>Enero</b>	1172976 kms
<b>Febrero</b>	1170211 kms
<b>Marzo</b>	1210799 kms
<b>Abril</b>	1235705 kms
<b>Mayo</b>	1257168 kms
<b>Junio</b>	1159004 kms
<b>Julio</b>	1187607 kms
<b>Agosto</b>	1266735 kms
<b>Septiembre</b>	1236673 kms
<b>Total</b>	7207881 kms

Fuente: RODRÍGUEZ, L. Informe de Gestión tercer trimestre año 2018. Metrolinea S.A. 2018. Disponible en internet: [http://www.metrolinea.gov.co/v3.0/sites/default/files/informe\\_de\\_gestion\\_iii\\_trim\\_2018.pdf](http://www.metrolinea.gov.co/v3.0/sites/default/files/informe_de_gestion_iii_trim_2018.pdf)

Gráfico 4. Comportamiento kilómetros mensuales año 2018 (enero-septiembre)



De acuerdo al grafico se puede evidenciar que el mes de Junio fue el mes en donde la cantidad de kilómetros recorridos fue menor comparada con los otros ocho meses tenidos en cuenta, mientras que en Agosto fue el mes en que mas aumentaron los kilómetros.

Teniendo el dato del total de kilómetros recorridos para el periodo Enero-Septiembre y usando el rendimiento de 5kms/Gal, presentado en el cálculo de los años 2015, 2016 y 2017, se hallan los galones consumidos en este periodo de tiempo así:

$$\text{Combustible consumido CC (gal diesel/ año)} = \frac{\text{Distancia recorrida por el vehiculo (kilometros)}}{\text{rendimiento del vehiculo}}$$

Cuadro 15. Cálculo Galones de Combustible Consumido 2018 (Enero-Septiembre).

Total kilómetros recorridos	Rendimiento	Combustible consumido Enero-Septiembre
10896878 kms	5 kms/Gal	2179375,6 Gal

Con el total de combustible consumido para el periodo de tiempo Enero-Septiembre se aplica la fórmula de Huella de carbono, teniendo en cuenta Factores de emisión y potencial de calentamiento global mencionados en el cálculo para los años 2015, 2016 y 2017 para cada GEI así:

$$\text{Emisiones GEI (tCO}_2\text{e/año)} = \text{CC (gal diésel/año)} * \text{FE (t de CO}_2\text{/gal diésel)} * \text{PCG}$$

Cuadro 16. Cálculo total Emisiones de CO2 equivalente Metrolínea año 2018 (Enero-Septiembre)

<b>Año</b>	<b>Emisiones CO2</b>	<b>Emisiones CH4</b>	<b>Emisiones N2O</b>	<b>Emisiones totales CO2</b>
2018	22118,48 ton	2,26 ton	21,37 ton	22142,11 ton

Las emisiones para el periodo Enero-Septiembre de 2018, considerando un consumo de combustible de 2179375,6 Galones, fueron de 22142,11 toneladas equivalentes de CO2.

Para determinar si el sistema de transporte Metrolínea es o no sostenible en el año 2018 y haciendo las conversiones correspondientes se tiene que:

$$\text{Emisión media CO}_2 \text{ eq} = \text{total Kg CO}_2 \text{ eq} / \text{total Litros consumidos}$$

$$\text{Emisión media CO}_2 \text{ eq} = 22'142.110 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq} / 8'253.295,40 \text{ Lt}$$

$$\text{Emisión media CO}_2 \text{ eq} = 2,682 \text{ Kg CO}_2 / \text{Lt}$$

Comparando el resultado de emisiones obtenido de 2,682 Kg CO2/Lt con el parámetro establecido por el Grupo Intergubernamental de Expertos por el Cambio Climático de emisiones medias de 2,69 kg CO2/Lt se puede deducir que el Sistema integrado de transporte Metrolínea para el año 2.018 sí cumple con el

parámetro de sostenibilidad propuesto en este trabajo de investigación ya que está por debajo de la media de emisión establecida con un porcentaje del 0,8%.

## 6 CONCLUSIONES

- El transporte público debe buscar el interés común de movilidad de pasajeros por encima de rentabilidad de operadores del servicio. Esto se cumple en las grandes ciudades de Asia y Europa que han logrado apuntarle a la movilidad sostenible y tener Sistemas de Transporte público eficientes. En cambio, las ciudades de Latinoamérica incluida Bucaramanga al adoptar Sistemas de transporte masivo han privilegiado a operadores del servicio pagándole por kilómetro recorrido a empresas privadas (Metro5 Plus, Movilizamos S.A y TISA S.A en el caso del sistema de transporte Metrolínea) que sacrifican calidad del servicio en busca del beneficio propio, lo que también se traduce en afectaciones ambientales como lo son alarmantes emisiones de gases GEI.
- En Colombia, el último estudio del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero en el que se evidencian emisiones de dióxido de carbono equivalente se realizó en el 2012. Al año, el país emite 178258000 toneladas de CO2 equivalente en las que el sector transporte participa en un 11%, es decir, este sector emite 19608380 toneladas de CO2 equivalente al año. Entonces en promedio, el Sistema de Transporte integrado Metrolínea emite 30877.18 toneladas de CO2 equivalente al año lo que significa una contribución de 0,1574% al sector y de 0,0173% al total de emisiones del país.
- El Sistema Integrado de Transporte Metrolínea tuvo su origen en el año 2009, desde ese entonces hasta ahora solamente se ha realizado el cambio de una flota, la flota de Piedecuesta en 2014, donde se mejoró a la normativa euro 4. Se percibe un atraso tecnológico, por esta razón la empresa debe entrar en un proceso estratégico para la renovación de las flotas porque por su parte en Europa ya se ha desarrollado hasta la tecnología Euro 6.

- Se pudo concluir que no se cumple la hipótesis planteada al inicio de la investigación porque el Sistema Integrado de Transporte Metrolínea de Bucaramanga está dentro del parámetro de emisiones de CO<sub>2</sub>e determinado por el Grupo Intergubernamental de Expertos por el Cambio Climático. Sin embargo, hay que tener en cuenta que este sistema está por debajo de la media con solo una diferencia del 0.3%, diferencia muy mínima. Por lo tanto, se deben de tomar medidas para prevenir que aumenten las emisiones de CO<sub>2</sub>e y sobrepase la media establecida, por ejemplo, convirtiendo todos los buses en buses híbridos, es decir que utilice tanta tecnología eléctrica como combustible para reducir las emisiones de gas carbónico.
  
- Para reducir las emisiones de dióxido de carbono y teniendo en cuenta teoría sobre sumideros naturales de emisiones contemplados en el Protocolo de Kyoto se puede concluir que, como un árbol retiene media tonelada de CO<sub>2</sub> al año, se requirieron 61754 árboles en promedio para mitigar el daño ambiental que provocan las emisiones para cada año. Actualmente, El área metropolitana de Bucaramanga cuenta con, en promedio, 350000 árboles y el área urbana del AMB cuenta con 55136 árboles por lo que el área urbana no posee la capacidad de retener el CO<sub>2</sub> que produce en operación el Sistema Integrado de Transporte Metrolínea.
  
- Desarrollar el ciclo económico depende de mantener viva la fuente de recursos, la naturaleza, con este propósito nace la Economía Ecológica, refiriéndose al uso eficiente de los recursos y a producir unas bajas o nulas emisiones de GEI; creando productos y servicios verdes que no dañen el planeta. La economía verde además de crear nuevos empleos, también refuerza la seguridad energética de los países haciéndolos menos dependientes de las importaciones de carbón, gas y petróleo, creando fuentes de energía renovables.
  
- Mas allá de una reforestación masiva se debe generar una restauración ecológica integral, es decir, no solo se trata de sembrar cualquier tipo de

árbol, sino de restaurar el conjunto del ecosistema. Para esto se deben realizar estudios, que permitan determinar qué tipo de árboles son acordes a determinados ecosistemas teniendo en cuenta la fauna, la flora, el suelo, entre otros factores para que esas especies de árboles crezcan y poco a poco se incorporen en ese ecosistema.

## BIBLIOGRAFÍA

ACCIONA. Energía eólica. Disponible en: <http://www.accionacom.com/es/energias-renovables/energia-eolica/>

ÁNGEL, S. Planeta de Ciudades. Bogotá, Colombia: Universidad del Rosario. 2015.

ARCADIS. Sustainable Cities Mobility index 2017. Bold Moves. A focus on Europe. 2017.

ARISTI, Jesús y MALDONADO, José Luis. Financiación de Infraestructuras y Servicios de Transporte Urbano. Revista de Obras públicas. 1994. Disponible en internet: [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1994/1994\\_abril\\_3331\\_07.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1994/1994_abril_3331_07.pdf)

BANCO MUNDIAL. Transporte: Resultados del Sector. 2014. En: <http://www.bancomundial.org/es/results/2013/04/14/transport-results-profile>

BANCO MUNDIAL. Data. Hong kong. 2018. Disponible en internet: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>

BERTALANFFY, L.V. Teoría General de los Sistemas: Fundamentos, desarrollo y aplicaciones (trad. Del inglés). 1976.

BLANCO, Jorge; DOMÍNGUEZ, Luis; GUTIERREZ, Andrea. Ciudad de Buenos Aires: elementos para una política de transporte. Revista de Transporte y Territorios. Universidad de Buenos Aires. 2016. Disponible en internet: <file:///Users/mercedes/Downloads/Dialnet-CiudadDeBuenosAires-5692929.pdf>

BÓRQUEZ, D. RAMIS, F. Cálculo de Consumo de Combustible y emisiones de CO<sub>2</sub> de Camiones Mineros, mediante simulación discreta. Revista Ingeniería industrial. Universidad de Bío Bío. Chile. 2017.

CABRERA, Diego Rafael. DECORSO, Guiseppe. Movilidad y Desarrollo Urbano en América Latina. Algunos aspectos con énfasis en el caso Bogotá. En Análisis Organizacional, Política Científica y Desarrollo Tecnológico. México. 2013.

CAMPOS, J; GINÉS, R; NOMBELA, G. Economía del Transporte: Elementos y principios básicos en Economía del Transporte. Universidad de las Palmas de la Gran Canaria. España. 2003.

COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. Integrated policy aspects of sustainable mobility. Working Paper. Extra Project. Transport RTD Programme. Fourth Framework Programme. 2002.

Corporación Ambiental Empresarial CAEM. Guía Metodológica para el Cálculo de la huella de Carbono Corporativa a nivel sectorial. 2013. GHG Protocol.

DELPHI. Worldwide Emissions Standards. Passenger Cars and Light Duty 2016/2017. EU directives. 2018.

DINERO. Mercedes Benz le juega a la movilidad sostenible. 2010. Disponible en: <https://www.dinero.com/pais/articulo/mercedes-benz-juega-movilidad-sostenible/98292>

El país. Planeta Futuro. La movilidad sostenible del futuro en las ciudades latinoamericanas. 2016. Disponible en internet: [https://elpais.com/elpais/2016/10/03/planeta\\_futuro/1475493190\\_616457.html](https://elpais.com/elpais/2016/10/03/planeta_futuro/1475493190_616457.html)

ESPINDOLA, Cesar; VALDERRAMA, José. Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. 2011.

Fedesarrollo. Centro de investigación económica y social. La integración de los sistemas de transporte urbano en Colombia una reforma en transición.2013. Disponible en internet: <http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/175/La%20integracion%20de%20los%20sistemas%20de%20transporte%20urbano%20en%20Colombia%20-%20Findeter.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

FIGUEROA, Oscar. Transporte urbano y globalización. Políticas y efectos en América Latina. Revista eure (Vol. XXXI, N. 94). Chile. 2005.

Fundación Natura. Guía para los inventarios organizacionales de emisiones de GEI por uso de combustibles fósiles en actividades industriales y comerciales; Rodriguez, W; Villalba, D; Saavedra,F. Bogotá D.C. Colombia, Fundación Natura; CAEM. 2016.

GIMENEZ, A. Transporte y Sostenibilidad. La universidad Miguel Hernández como caso de estudio. 2009. Pág.2.

GIORGI, Lana. Movilidad Sostenible. Revista Internacional de Ciencias Sociales. Marzo 2003. Pág. 3.

GONZALES, Mariano. Ideas y Buenas Prácticas para la Movilidad Sostenible. Madrid, España: Ecologistas en Acción. 2007. Pg 6.

GUTIERREZ, C. El Desarrollo Sostenible: Conceptos básicos, alcance y criterios para su evaluación. 2010. Pág. 12.

GRANADOS, A. Informe de Gestión primer trimestre año 2018. Metrolinea S.A. 2018. Disponible en internet: [http://www.metrolinea.gov.co/v3.0/sites/default/files/informe\\_de\\_gestion\\_1\\_trim\\_2018.pdf](http://www.metrolinea.gov.co/v3.0/sites/default/files/informe_de_gestion_1_trim_2018.pdf)

GRUPO DE ESTUDIOS EN SOSTENIBILIDAD URBANA Y REGIONAL. Universidad de los Andes. Productos analíticos para apoyar la toma de decisiones sobre acciones de mitigación a nivel sectorial. Sector Transporte. 2014.

GRÜTTER, Jürg. Rendimiento Real de Buses Híbridos y Eléctricos: Rendimiento ambiental y económico de buses híbridos y eléctricos basados en grandes flotas operacionales. 2015. Pág 18.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2015. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Colombia. Bogotá, Colombia. 2015.

Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía IDAE; Gestión del Combustible en las Flotas de Transporte por Carretera; Madrid (España); 2006; disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10232\\_Guia\\_gestion\\_combustible\\_flotas\\_carretera\\_06\\_32bad0b7.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10232_Guia_gestion_combustible_flotas_carretera_06_32bad0b7.pdf)

IPCC. Grupo Gubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambio Climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III. Suiza, 2015.

JIMENEZ, L. Transporte y movilidad. Claves para la sostenibilidad. 2011. Disponible en internet: [http://www.fgcsic.es/lychnos/es/es/articulos/transporte\\_movilidad\\_claves\\_para\\_la\\_sostenibilidad](http://www.fgcsic.es/lychnos/es/es/articulos/transporte_movilidad_claves_para_la_sostenibilidad)

LAM, William H.K. Modelado Avanzado para Operaciones de Tránsito y Planificación de Servicios. Editorial Elsevier. 2003.

LLANO GALA. Safe city. Medellín Movilidad Sostenible. Disponible en internet: <http://safecitying.com/medellin-movilidad-sostenible/>

MAX-NEEF, A. ELIZALDE, A. HOPENHAYN. M. Desarrollo a escala humana: conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones. 1993.

PARDO, Carlos Felipe. Los cambios en los Sistemas integrados de transporte masivo en las principales ciudades de Latinoamérica. Naciones Unidas. Chile. 2009.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO. Objetivos del Desarrollo Del Milenio. Colombia. 2014.

RESS, W; WACKERNAGEL, M. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. 2001.

RIPA, J. Las mejores ciudades del mundo para moverse. Periódico El país. 2017. Disponible en internet: [https://elpais.com/economia/2017/11/15/actualidad/1510765149\\_279561.html](https://elpais.com/economia/2017/11/15/actualidad/1510765149_279561.html)

RIPA, J. El cambio climático: Una realidad. 2011. Editorial Viceversa.

RODRÍGUEZ, J. C. y DÍAZ, J. A. 2014. Evaluación de impacto del sistema de transporte Metrolínea: revisión de metodologías. Equidad & Desarrollo (22).

RODRÍGUEZ, L. Informe de Gestión tercer trimestre año 2018. Metrolínea S.A. 2018. Disponible en internet: [http://www.metrolinea.gov.co/v3.0/sites/default/files/informe\\_de\\_gestion\\_iii\\_trim\\_2018.pdf](http://www.metrolinea.gov.co/v3.0/sites/default/files/informe_de_gestion_iii_trim_2018.pdf)

RODRÍGUEZ, M; MANCE, H; BARRERA, X; GARCÍA, C. Cambio climático: lo que está en juego. Foro Nacional ambiental. 2009.

RUEDA, N; GONZALEZ, J. Impacto por externalidades del Sistema Integrado de Transporte Masivo del área metropolitana de Bucaramanga. Universidad Santo Tomas.

SCHNEIDER, H. WACKERNAGEL, M. La Huella ecológica del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. CEPAL. 2010.

UPME Unidad de Planeación Minero Energética. Calculadora de Emisiones. FECOC. 2016. Disponible en internet:  
[http://www.upme.gov.co/calculadora\\_emisiones/aplicacion/calculadora.html](http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html)

VIANA, E. Definición y tipología de los sistemas ferroviarios, aspectos generales: El caso Español. Universidad de Barcelona. 2015.

## ANEXOS

Anexo A. Calculadora de emisiones- Upme

Calculo Calculadora Upme- Emisiones De Co2e Año 2015

Digite su consumo en galones sin separación de miles

Porcentaje de exceso de aire :

Digite el valor de exceso de aire, ej: 20 para 20% de exceso de aire

**Cálculo para Diesel B2**

**Total de emisiones CO2 calculadas (No equivalentes):**

<b>Total de emisiones</b>	
<b>Total de emisiones CO2:</b>	31656013.4591 KgCO2

Fuente: UPME Unidad de Planeación Minero Energética. Calculadora de Emisiones. FECOC. 2016. Disponible en internet: [http://www.upme.gov.co/calculadora\\_emisiones/aplicacion/calculadora.html](http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html)

## Calculo Calculadora Upme- Emisiones De Co2e Año 2016

Digite su consumo en galones sin separación de miles

Porcentaje de exceso de aire :

Digite el valor de exceso de aire, ej: 20 para 20% de exceso de aire

**Cálculo para Diesel B2**

**Total de emisiones CO<sub>2</sub> calculadas (No equivalentes):**

Total de emisiones	
Total de emisiones	31445300.3019
CO <sub>2</sub> :	KgCO <sub>2</sub>



Fuente: UPME Unidad de Planeación Minero Energética. Calculadora de Emisiones. FECOC. 2016. Disponible en internet: [http://www.upme.gov.co/calculadora\\_emisiones/aplicacion/calculadora.html](http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html)

## Calculo Calculadora Upme- Emisiones De Co2e Año 2017

Digite su consumo en galones sin separación de miles

2899919,4

Porcentaje de exceso de aire :

Digite el valor de exceso de aire, ej: 20 para 20% de exceso de aire

**Cálculo para Diesel B2**

Total de emisiones CO2 calculadas (No equivalentes):

<b>Total de emisiones</b>	
<b>Total de emisiones CO2:</b>	29431224.7427 KgCO2

Fuente: UPME Unidad de Planeación Minero Energética. Calculadora de Emisiones. FECOC. 2016. Disponible en internet: [http://www.upme.gov.co/calculadora\\_emisiones/aplicacion/calculadora.html](http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html)