

Estudio de la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producido por el parque automotor  
matriculado en la ciudad de Bucaramanga

Juan José Salcedo Santos

Jeff André Oliveros Prada

Proyecto de investigación para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Miller Humberto Salas.

Doctor en Gestión del Territorio e Infraestructuras del Transporte

Universidad Industrial De Santander

Facultad De Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela De Ingeniería Civil

Bucaramanga

2020

## Dedicatoria

*Con entrañable afecto dedico este logro a mis padres, Giovanni Oliveros y Beatriz Prada, son un pilar fundamental en mi vida, que con su amor y guía me impulsan a seguir hacia lo más alto, apoyando cada paso dado en la dirección de este logro. A mis hermanos Jerry Oliveros y Jessie Oliveros quienes depositando su confianza me animaron incansablemente. A mi familia en general, quienes me animaron a no desfallecer, a esforzarme y ser cada día mejor.*

*A Dios, quien en su infinito amor me dotó en sabiduría y me permite ver cumplido este sueño.*

**Jeff André Oliveros Prada**

*Con gran cariño quisiera dedicar este triunfo a Elizabeth Santos Domínguez que ha tenido la difícil tarea de criarme y educarme cumpliendo el rol de padre y madre, siempre dándome el apoyo incondicional e interminable amor. a mi padre Electo Enrique Salcedo Orozco (Q.E.P.D) por el tiempo que estuvo a mi lado, gracias por enseñarme el valor de la puntualidad, el respeto y la responsabilidad. Este logro también es tuyo.*

*A mi única y preciosa hermana Tatiana Salcedo Santos. La mujer que me he enseñó que la familia es lo más importante, la persona que me demostró que el altruismo debería ser un valor a desarrollar por todos.*

*A Dios por permitirme llegar hasta acá, por darme la salud de la que hoy gozo y lo más importante por darme una maravillosa familia.*

*A todos los docentes y personas que hicieron parte de este proceso y que hoy gracias a ellos estoy cumpliendo este logro.*

**Juan José Salcedo Santos**

## Agradecimientos

*Primeramente, agradecerlo a Dios, señor y creador de todo. A Él sea la gloria. Agradecemos a nuestros padres por el apoyo incondicional, a nuestro director de proyecto el Ing. Miller Humberto Salas Rondón PhD, por su constante apoyo, dedicación y tiempo. a la Universidad Industrial de Santander y a nuestros docentes por su ardua labor en el camino hacia el conocimiento, a nuestros familiares y amigos que hicieron parte del proceso educativo y que nos motivaron a llegar a esta instancia.*

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	13
1. Marco teórico .....	14
1.1 Estimación de las fuentes móviles .....	14
1.2 Cálculo de la emisión de agentes contaminantes .....	14
1.2.1 Medición directa .....	14
1.2.2 Medición indirecta .....	15
1.3 Emisión de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) producido por vehículos particulares y taxis .....	16
1.4 Emisión de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) producido por camiones .....	17
1.5 Emisión de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) producido por motocicletas .....	17
1.6 Emisión de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) producido por buses.....	18
1.7 Ciclos de conducción .....	18
2. Estado actual .....	21
3. Objetivos .....	33
3.1 Objetivo general.....	33
3.2 Objetivos específicos .....	33
4. Metodología .....	34

---

4.1 Categoría vehicular .....	35
4.2 Número de vehículos por categoría .....	35
4.3 Factor de emisión de CO <sub>2</sub> por vehículo .....	36
4.3.1 Factor de emisión de CO <sub>2</sub> para taxis y vehículos particulares.....	36
4.3.2 Factor de emisión de CO <sub>2</sub> para camiones.....	37
4.3.3 Factor de emisión de CO <sub>2</sub> para motocicletas .....	37
4.3.4 Factor de emisión de CO <sub>2</sub> para buses .....	38
4.4 Actividad por cada tipo de vehículo .....	38
5. Resultados.....	39
5.1 Encuesta .....	39
5.2 Número de vehículos por categoría .....	40
5.3 Factor de emisión de CO <sub>2</sub> de cada tipo de vehículo .....	40
5.3.1 Velocidad promedio de circulación en la ciudad (por categoría de vehículo).....	41
5.3.2 Factor de emisión de CO <sub>2</sub> para vehículos particulares y taxis.....	41
5.3.3 Factor de emisión de CO <sub>2</sub> para camiones. ....	42
5.3.4 Factor de emisión de CO <sub>2</sub> para motocicletas. ....	43
5.3.5 Factor de emisión de CO <sub>2</sub> para buses. ....	44
5.4 Actividad por categoría de vehículo .....	45
5.5 Emisiones totales por categoría .....	45
5.5.1 Emisión de CO <sub>2</sub> total de vehículos particulares y taxis .....	45
5.5.2 Emisión de CO <sub>2</sub> total de camiones. ....	46
5.5.3 Emisión de CO <sub>2</sub> total de motocicletas .....	47
5.5.4 Emisión de CO <sub>2</sub> total de buses.....	47

---

5.6 Emisión de CO <sub>2</sub> por parte del parque automotor matriculado en la ciudad de Bucaramanga.	48
5.7 Cuantía económica asociada a la cantidad de toneladas de CO <sub>2</sub> /día. ....	49
6. Conclusiones .....	49
7. Futuros trabajos de investigación.....	51
Referencias.....	53
Apéndices.....	55

**Lista de figuras**

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1.</i> Códigos del ICA establecidos por la AMB. ....	24
<i>Figura 2.</i> Equipos de medición de material particulado.....	25
<i>Figura 3.</i> Equipos de medición meteorológica.....	26

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. <i>Total, mediciones en el municipio de Bucaramanga</i> .....	27
Tabla 2. <i>Total, de mediciones por concepto final de prueba.</i> .....	27
Tabla 3. <i>Parque automotor en el AMB a diciembre 31 de 2018.</i> .....	28
Tabla 4. <i>Total, parque auto motor del municipio de Bucaramanga DTB</i> .....	29
Tabla 5. <i>Cantidad de (gCO<sub>2</sub>/Km) en función del cilindraje y velocidad promedio por parte de vehículos particulares y taxis.</i> .....	36
Tabla 6. <i>Cantidad de (gCO<sub>2</sub>/Km) en función de la capacidad y velocidad promedio por parte de vehículos pesados.</i> .....	37
Tabla 7. <i>Cantidad de (gCO<sub>2</sub>/Km) en función del tipo de motor y velocidad promedio por parte de motocicletas.</i> .....	37
Tabla 8. <i>Cantidad de (gCO<sub>2</sub>/Km) en función de la clasificación y velocidad promedio por parte de buses.</i> .....	38
Tabla 9. <i>Tipo de vehículo, velocidad promedio y distancia recorrida.</i> .....	39
Tabla 10. <i>Total, número de vehículos matriculados en la ciudad de Bucaramanga por categoría.</i> .....	40
Tabla 11. <i>Velocidad promedio por tipo de vehículo</i> .....	41
Tabla 12. <i>Número de vehículos matriculados en Bucaramanga en función del tipo y cilindraje</i>	42

Tabla 13. <i>Factor de emisión de CO<sub>2</sub> en función del tipo de vehículo y rango de cilindraje</i> .....	42
Tabla 14. <i>Factor de emisión CO<sub>2</sub> para camión rígido</i> .....	43
Tabla 15. <i>Cilindraje y tipo de motor de las motocicletas matriculadas en la ciudad de Bucaramanga</i> .....	43
Tabla 16. <i>Factor de emisión de CO<sub>2</sub> en función del tipo de motor y rango de cilindraje</i> .....	44
Tabla 17. <i>Factor de emisión de CO<sub>2</sub> para Bus estándar</i> .....	44
Tabla 18. <i>Promedio de kilómetros recorridos por los diferentes tipos de vehículos.</i> .....	45
Tabla 19. <i>Emisión total en función del rango de cilindraje de vehículos particulares y taxis.</i> ....	45
Tabla 20. <i>Emisión de CO<sub>2</sub> total de los camiones</i> .....	46
Tabla 21. <i>Emisión de CO<sub>2</sub> total en función del rango de cilindraje y el tipo de motor de las motocicletas.</i> .....	47
Tabla 22. <i>Emisión de CO<sub>2</sub> total de buses</i> .....	48

**Lista de apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Reporte Mensual ICA PM2.5 (01/12/2019 – 31/12/2019) .....	55
Apéndice B. Reporte Mensual ICA PM 2.5 (01/01/2020 – 31/01/2020) .....	56
Apéndice C. Reporte Mensual ICA PM2.5 (01/02/2020 – 29/02/2020) .....	57
Apéndice D. Reporte Mensual ICA PM2.5 (01/03/2020 – 31/03/2020) .....	58
Apéndice E. Reporte Mensual ICA PM2.5 (01/04/2020 – 30/04/2020).....	59
Apéndice F. Encuesta realizada en el municipio de Bucaramanga .....	60
Apéndice G. Resultados generales de la encuesta .....	62
Apéndice H. Resultados discriminados por tipo de vehículo .....	65
Apéndice I. Aforo vehicular en estación del Colegio Normal Superior Sede C.....	74
Apéndice J. Aforo vehicular en estación del Instituto Caldas .....	75
Apéndice K. Aforo vehicular en estación del Colegio Nuestra Señora del Pilar. ....	76

## Resumen

**Título:** Estudio de la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producido por el parque automotor matriculado en la ciudad de Bucaramanga\*

**Autores:** Juan José Salcedo Santos, Jeff André Oliveros Prada\*\*

**Palabras claves:** Gas de efecto invernadero, fuentes móviles, dióxido de carbono.

### Descripción:

En el siguiente artículo se presenta un modelo, el cual tiene como propósito determinar la cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), emitida por las fuentes móviles matriculadas en la ciudad de Bucaramanga, comparando diferentes modelos usados en los países más desarrollados y ajustándolos a un contexto local. Además, se presenta en detalle los tipos de vehículos generadores de este gas de efecto invernadero y la relación: cantidad de vehículos por tipo/contaminación emitida. Finalmente se plantean alternativas para la mitigación en la emisión de dióxido de carbono, en pro del mejoramiento del aire y la salud pública en la ciudad capital del departamento de Santander. Dentro del mismo se establece un costo asociado a la cantidad de emisión de CO<sub>2</sub> medido en toneladas, costo que corresponde al valor de tiene este gas dentro del mercado, establecido en el tratado de Tokio, en el cual cada país que logre reducir su emisión de CO<sub>2</sub> en tantas cantidades de toneladas se le atribuye una remuneración económica, el valor que se estableció es de 26.71 Euros. Medida con la cual se busca incentivar a los países a nivel mundial que reemplacen sus fuentes de emisiones de gases tipo efecto invernadero y se opten por nuevas tecnologías que ayuden al medio ambiente y a la población mundial en general.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad De Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela De Ingeniería Civil. Director: Miller Humberto Salas, Doctor en Gestión del Territorio e Infraestructuras del Transporte

### Abstract

**Title:** Study of the emission of carbon dioxide (CO2) produced by the automotive park registered in the city of Bucaramanga\*

**Author:** Juan José Salcedo Santos, Jeff André Oliveros Prada.\*\*

**Keywords:** Greenhouse gas, mobile sources, carbon dioxide.

### Description

The following article presents a model whose purpose is to determine the amount of carbon dioxide (CO2) emitted by registered mobile sources in Bucaramanga city, comparing different models used in the most developed countries and adjusting them to a local context. In addition, the types of vehicles that generate this greenhouse gas are presented in detail and the relationship: number of vehicles by type / pollution emitted. Finally, the alternatives are proposed for mitigating the emission of carbon dioxide, improving the air and public health in the capital city of the department of Santander.

There is an associated cost with the amount of CO2 emission, measured in tons is established, the cost corresponds to the value of this gas in the market, established in the Tokyo treaty, in which each country that manages to reduce the emission of CO2 in so many quantities of tons is attributed an economic remuneration, the value that was established is 26.71 Euros. Measure seeks to encourage countries worldwide to replace their sources of greenhouse gas emissions and opt for new technologies that help the environment and the world population in general.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Miller Humberto Salas, Doctor of Land Management and Transport Infrastructure

## Introducción

El desarrollo económico de muchas ciudades ha ido a la par con un aumento considerable en las tasas de emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI) dentro de los cuales se encuentra el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el cual tiene un costo asociado elevado y un impacto medioambiental tan relevante que ha llevado a muchas ciudades del mundo reportar altos índices de polución, lo cual convierte este problema no solo en un inconveniente económico, sino también, una situación de salud pública.

Bucaramanga no es una ciudad ajena a esta problemática por eso se hace necesario establecer medidas que permitan calcular con precisión cual es la cantidad de dióxido de carbono que se está emitiendo en la ciudad. Para lograrlo. Este artículo tiene como propósito fundamental, plantear un modelo capaz de calcular la cantidad de dióxido de carbono que se está emitiendo por parte del parque automotor matriculado en la ciudad y proponer medidas de mitigación.

## 1. Marco teórico

### 1.1 Estimación de las fuentes móviles

Se considera una fuente móvil a aquella que es capaz de desplazarse de un punto a otro, estas fuentes generan agentes contaminantes como óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, dióxidos de azufre y compuestos orgánicos volátiles. (González Castillo, 2019), las principales fuentes móviles que circulan en la ciudad de Bucaramanga son: automóviles, motocicletas, camiones y buses.

### 1.2 Cálculo de la emisión de agentes contaminantes

Para medir la cantidad de contaminantes que se está produciendo debido al parque automotor, es necesario acudir a dos tipos de mediciones: directa e indirecta.

#### 1.2.1 *Medición directa*

Esta medición se hace por medio de un analizador de gases que es capaz de medir la concentración de agentes contaminantes, este tipo de pruebas se pueden clasificar a su vez en; medición estática y medición dinámica.

- **Pruebas estáticas:** estas pruebas no necesitan de una aplicación de una carga externa al automotor, mientras se realiza esta medición el vehículo se encuentra en estado ralentí, es decir que la transmisión está en neutro. Los equipos más usados para realizar este tipo de pruebas son: sensor remoto (detecta emisiones por medio de rayos ultravioleta e infrarrojos), sistema portátil de

medición de emisiones (PEMS por sus siglas en inglés, resulta ser el método más caro) y el dinamómetro (se realiza en condiciones controladas y con una aplicación de la carga conocida).

- **Pruebas dinámicas:** estas pruebas se realizan generalmente en vehículos en marcha. Se realizan sobre dinamómetros de chasis o cuando el vehículo está en operación.

Estas pruebas tienen un costo asociado muy elevado, por lo que no es recomendable para proyectos de investigación que tengan un presupuesto establecido muy bajo.

### ***1.2.2 Medición indirecta***

La medición de gases indirecta está basada en correlaciones mediante el uso de software, que implementan diversos parámetros como lo son la geografía, meteorología, entre otros. (González Castillo, 2019).

La realización de estas mediciones se hace a través de modelos que se han ajustado a partir de los métodos de medición directa.

Los modelos más usados en el mundo para la estimación de emisión de gases contaminantes son: *Motor Vehicle Emission Simulator* (MOVES por sus siglas en inglés) desarrollado por la agencia de protección ambiental (EPA) en EE.UU y el cual está basado en trazar un patrón de conducción fijo y realizando ajustes en las velocidades que se manejan en la ruta; y el *Computer Program to Calculate Emissions from Road Transport* (COPERT por sus siglas en inglés) la cual fue desarrollado por la agencia ambiental europea y permite calcular emisiones de vehículos que se encuentren tanto en circulación o fuera de uso.

Dado que estos modelos han sido implementados para países desarrollados se hace complejo adaptarlos a un entorno local, sin embargo, la Universidad de California en Riverside

(UCR) elaboró el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (*IVE Model*) (Giraldo Amaya & Behrentz, 2006), con el objetivo de suplir las necesidades de estos países en vía de desarrollo en la realización de inventarios de emisiones de fuentes móviles. El proceso involucrado en tal estudio no solo incluye la herramienta computacional, sino el desarrollo de una metodología que permite recolectar, de manera efectiva y económica, la información necesaria para determinar las emisiones provenientes de las fuentes móviles.

Gracias al modelo IVE es posible estimar las emisiones de contaminantes criterio, gases efecto invernadero y demás sustancias tóxicas (NH<sub>3</sub>, benceno, plomo, 1.3 butadieno y acetaldehídos) provenientes de vehículos de pasajeros (particulares y taxis), motocicletas, buses y camiones. Para el cálculo del inventario de emisiones, el modelo necesita información acerca de los siguientes componentes: la tasa de emisión de contaminantes de los vehículos (factores de emisión), la actividad de los vehículos y la distribución tecnológica de la flota (uso de aire acondicionado, tipo de combustible utilizado, sistemas de control de emisiones). El modelo IVE cuenta con la opción de ingresar los factores de emisión propios de cada ciudad. Sin embargo, en caso de que esta información no esté presente, el modelo utiliza factores de emisión desarrollados a partir del ciclo de conducción del Método de Prueba Federal (FTP) de Estados Unidos para ser luego ajustados al contexto de la ciudad para la cual se está elaborando el análisis (Giraldo Amaya & Behrentz, 2006).

### **1.3 Emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producido por vehículos particulares y taxis**

Los automóviles al representar cerca del 72% del parque automotor matriculado en la ciudad de Bucaramanga, tienen un gran impacto a la hora de calcular la huella de CO<sub>2</sub> que se presenta en la ciudad.

Esta emisión está en función de 2 factores, el tipo de combustible utilizado (gasolina corriente o Diesel) y el cilindraje del vehículo (menores a 1400cc, entre 1400cc y 2000cc, más de 2000cc) (aplica para taxis y vehículos particulares). (climatic, 2013).

#### **1.4 Emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producido por camiones**

Generalmente los camiones son de las categorías vehiculares que menos ejemplares matriculados hay en la ciudad, sin embargo, la cantidad de CO<sub>2</sub> que llegan a producir debido al tipo de motor que emplean para su movilidad, derivan en una cantidad representativa de toneladas de CO<sub>2</sub>/año.

Estos motores (usualmente impulsados por Diesel) llegan a emitir hasta un 8% más de gCO<sub>2</sub>/l frente a la gasolina corriente (climatic, 2013)

#### **1.5 Emisión de dióxido de carbono (co<sub>2</sub>) producido por motocicletas**

Las motocicletas al ser el medio de transporte más usado por la mayoría de las personas que viven en países en vía de desarrollo comprenden un número bastante elevado. Las cantidades de CO<sub>2</sub> que pueden emitir estos vehículos dependen en su mayoría del tipo de motor que posean. (Motor de 2 tiempos o 4 tiempos). Esto se refiere a la cantidad de ciclos necesarios para generar el movimiento en el vehículo.

A diferencia del motor de dos tiempos, el motor de cuatro tiempos genera menos emisiones de CO<sub>2</sub> debido a su mayor precisión en la dosificación de combustible inyectado (González Castillo, 2019).

## 1.6 Emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producido por buses

La cantidad de gCO<sub>2</sub>/Km que generan los buses, está en función del tipo de bus (estándar o 3 ejes), esto asociado a la cantidad de pasajeros que puedan llegar a transportar.

Este tipo de vehículo es el que posee uno de los mayores factores de emisión de CO<sub>2</sub> de los tipos de fuentes móviles que están matriculados y transitan en la ciudad.

Un bus estándar (>18t) puede llegar a producir un casi un 60% más de gCO<sub>2</sub>/Km que un camión rígido (>14t), lo cual lo lleva sin duda a ser una de las fuentes móviles más contaminantes de GEI (climatic, 2013)

## 1.7 Ciclos de conducción

El ciclo de conducción es la representación de la relación velocidad - tiempo que se manifiesta a la hora transitar dentro de una ciudad o autopista, teniendo en cuenta diversos factores como las características climáticas y geográficas.

Uno de los propósitos del ciclo conducción es participar en la correcta planeación de movilidad en las ciudades, así como en la creación de nuevos automotores y nuevas tecnologías. En el aspecto medioambiental estos ciclos son usados para estimar emisiones de GEI, para el control de la calidad del aire.

Existen dos tipos de ciclos de conducción, los ciclos de conducción estándar o legislativa (de homologación) y los ciclos de conducción no estándar. Dentro de los ciclos estándar encontramos el FTP 75 (*Federal Test Procedure de 1978*) y el ciclo horario japonés modo 10-15, que se utilizan actualmente en los Estados Unidos y Japón, respectivamente.

También existen ciclos de homologación más detalladas con respecto al tipo de vehículo, por ejemplo, el Ciclo Mundial de Prueba de Motocicletas (WMTC), el cual es utilizado para medir el consumo de combustible y las emisiones producidas específicamente por motocicletas.

- **Ciclo FTP75:**

Este ciclo de conducción está dividido en 3 partes:

1. Fase de arranque en frío: se refiere al arranque inicial cuando el motor del vehículo está frío y en reposo. Tiene una duración de 505 segundos.

2. Fase de transición: el vehículo sigue el patrón predeterminado por el ciclo de conducción mientras se completa un ciclo completo de encendido del motor. Tiene una duración de 864 segundos.

3. Fase de arranque en caliente: en esta fase el ciclo se reinicia, con la diferencia que el motor ya ha completado un ciclo de encendido y se encuentra en condiciones de estrés diferentes debido a su aumento de temperatura por el trabajo realizado.

El FTP75 recorre una distancia de 17,77km, con una velocidad promedio de 34,1km/h y una duración de 1874s.

- **Ciclo japonés 10-15:**

El ciclo completo incluye una secuencia de calentamiento de 15 minutos a 60km/h y un segmento del ciclo modo 15, seguido de tres segmentos donde se repite el ciclo modo 10 y termina con un segmento del ciclo modo 15. Las emisiones se miden en los últimos cuatro segmentos. El

ciclo recorre una distancia de 4,16km, a una velocidad promedio de 22,7km/h y tiene una duración de 660s sin incluir el segmento inicial donde no se toman datos

- **Ciclo mundial de pruebas de motocicleta (WMTC):**

Como se mencionó anteriormente este ciclo tiene como objetivo el cálculo de consumo y emisiones producidas exclusivamente por motocicletas.

El ciclo WMTC recorre una distancia total de 4065,26m, en un tiempo total de 600s y una velocidad promedio de 28,92 km/h.

Por otra parte, los ciclos de conducción no estándar están en función de las características de tráfico y hábitos de conducción de un lugar en específico. Los ciclos de conducción varían dependiendo de las condiciones representativas de cada lugar, aun así, todos tienen en común la misma serie de estados que se deben tener en cuenta (González Castillo, 2019):

1. Estado ralentí: es el régimen mínimo de revoluciones por minuto que presenta un motor para permanecer en funcionamiento sin necesidad de estar en movimiento.

La velocidad es cero.

2. Estado de aceleración: porciones del ciclo con una razón de cambio de velocidad positiva mayor o igual a 0,1 m/s<sup>2</sup>.

3. Velocidad constante: segmentos del ciclo con una razón de cambio de velocidad cuyo valor absoluto es menor a 0,1 m/s.

4. Estado de desaceleración: parte del ciclo con una razón de cambio de velocidad negativa menor o igual a -0,1 m/s<sup>2</sup>.

5. Periodo de conducción: Fragmento de la curva de velocidad versus tiempo limitada en los extremos por secciones en estado ralenti (no incluye el tiempo ralenti).

Para construir un ciclo de conducción significativo es necesario tener los datos de velocidad en la ruta de estudio segundo a segundo. Utilizando los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) se recauda información acerca de posicionamiento, navegación y cronometraje, permitiendo hallar la velocidad del vehículo durante todo el trayecto.

## **2. Estado actual**

Las actividades antropogénicas tales como la quema de combustible, ha derivado en altos niveles de contaminación producidos por la emisión de agentes de contaminación toxica en el aire, lo cual ha generado a nivel global gases efecto invernado los cuales son una de las mayores causas del cambio climático que presenta el planeta. La variación y velocidad con que se presentan estos cambios han llegado a niveles nunca vistos, lo que ha generado una preocupación a nivel mundial, se evidencia la postura asumida desde las Naciones Unidas, Agencias europeas, y demás entidades a nivel mundial, para tomar medidas prontas con el de mitigar los efectos generados por el cambio climático.

El IPCC (Grupo gubernamental de expertos sobre el cambio climático) presento un grupo de medidas en el año 2014, las cuales fueron acatadas, pero no es la única, dentro del desarrollo de cada país se encuentra medidas propias acorde a la situación en la que se encuentren,

estableciéndose estándares para controlar la emisión de agentes contaminantes y gradualmente disminuir la emisión de estos.

Estudios de la Unión Europea, demostró que el sector de mayor generación y emisión de agentes contaminantes es el transporte, realidad que se adapta a la mayoría de los países a nivel mundial. El sistema de información ambiental de Colombia determinó mediante estudios y monitoreos en el año 2018 que las fuentes móviles son las responsables aproximadamente del 80% de la emisión de agentes contaminantes, mientras el 20% restante es producido por fuentes fijas; esto se debe al crecimiento del parque automotor dentro de la ciudad y su área metropolitana, por lo cual se vuelve necesario tomar medidas ambientales para mitigar la contaminación del aire, medidas como el pico y placa ambiental, incentivo de uso del sistema de transporte masivo.

El enfoque deseado estará restringido a la ciudad de Bucaramanga, ya que es el área de interés para el estudio, además de que se desea tratar la problemática presentada es necesario conocer la preparación que tiene la ciudad para afrontar esta realidad, lo que incluye capacidad de realizar mediciones precisas de los niveles de contaminación, cumplimiento de normas técnicas especificadas, controles rutinarios de emisiones de GEI, etc. Es necesario conocer que sistemas cuenta la ciudad para regular los niveles de contaminación, fijar parámetros aceptables y sancionar efectivamente a quienes no cumplan con las normativas establecidas a nivel regional o nacional.

En la ciudad la entidad encargada del manejo medio ambiental y de contaminación es la AMB (Área metropolitana de Bucaramanga), a quien compete el cumplimiento de las normas de ordenamiento territorial, racionalización en la prestación de servicios y ejecución de infraestructura.

Para el cumplimiento de las normas medio ambientales la AMB cuenta con un sistema de vigilancia calidad del aire (SVCA Tipo III), que es una medición de nivel intermedio para

poblaciones entre 500.000 a 1'500.000 habitantes. El sistema se compone de 5 estaciones diseñadas para la medición de material particulado tipo PM10 y PM2.5, Ozono (O3), Óxidos de nitrógeno (NOx), además de datos meteorológicos. El sistema implementado por la AMB permite conocer información continua y en tiempo real, lo que permite evaluar la incidencia que tienen los agentes contaminantes en la calidad del aire y la salud de la población. El sistema categoriza la calidad del aire, mediante las convenciones ICA, identificando con un color específico la calidad del aire y el riesgo que podría presentar.

Las estaciones se encuentran distribuidas en toda el área metropolitana, de las cuales 3 de ellas se funcionan en Bucaramanga (Instituto Caldas - Transversal Oriental Lagos del Cacique; Colegio Nuestra Señora del Pilar – Ciudadela Calle de los Estudiantes 9-323; Colegio Normal Superior Sede C – Carrera 27 # 29-69), una de ellas presente en Floridablanca (Parque Acualago – Calle 29 # 10—13), y la última en Girón (Secretaria de Adulto Mayor – Diagonal 15 Carrera 17).

La AMB establece como objetivos del SVCA:

- Cumplimiento normativo (corto plazo)
- Activar procedimientos de control de episodios de contención (corto plazo)
- Validar modelos de dispersión de calidad del aire (mediano plazo)
- Evaluar estrategias de control (largo plazo)
- Observar tendencias de media y largo plazo

Para poder llevar a cabo dichos objetivos se hace necesario monitorear la calidad del aire y categorizarlo, por lo cual se ajustan al ICA (Índice de calidad del aire), que permite reportar el estado de la calidad del aire en función de un código de colores que tienen asociadas recomendaciones generales para reducir la exposición de la población a altas concentraciones, el cual se centra en los efectos sobre la salud que pueda experimentar la población. EL ICA se divide en seis categorías que indican el estado de la calidad del aire, además de permitir comunicar fácilmente la información de la calidad del aire.

*Figura 1.* Códigos del ICA establecidos por la AMB.

	Buena (0-50)	Moderada (51-100)	Dañina a la salud de Grupos Sensibles (101-150)	Dañina a la salud (151-200)	Muy dañina a la salud (201-300)	Peligrosa (301-500)
Color	verde	amarillo	naranja	rojo	purpura	marrón
Código RGB	0-228-0	255-255-0	255-126-0	255-0-0	143-63-151	126-0-35
Pictograma						

Adaptado de [amb.gov.co](http://amb.gov.co)

Para poder monitorear la calidad del aire y a su vez categorizarla, se disponen de una serie de equipos en las estaciones de medición. A continuación, se muestran los dispositivos adquiridos y utilizados por la AMB para las mediciones:

Figura 2. Equipos de medición de material particulado

EQUIPO	FUNCION	FOTOGRAFIA
Marca: Teledyne Modelo: T640X	Monitor de PM10 y PM2.5	
Marca: Teledyne Modelo: T200	Analizador de Óxidos de Nitrógeno (NO, NO2 y NOx)	
Marca: Teledyne Modelo: T400	Analizador de Ozono (O3)	
Marca: Teledyne Modelo: T700	Calibrador Dinámico, equipo utilizado para realizar las calibraciones del zero y el span de los equipos encargados de la medición de ozono y óxidos de nitrógeno.	
Marca: Teledyne Modelo: T701	Generador de Aire Zero Equipo utilizado para generar el Zero para calibrar los equipos encargados de la medición de ozono y óxidos de nitrógeno	
Marca: Tetracal	Calibrador de Flujo Equipo utilizado para la calibración de presión y flujo de los equipos encargados de la medición de material particulado, ozono y óxidos de nitrógeno	

Adaptado de amb.gov.co

Figura 3. Equipos de medición meteorológica.

EQUIPO	FUNCION	FOTOGRAFIA
<b>Marca:</b> Met one instruments <b>Modelo:</b> 083E	Sensor de humedad relativa y temperatura ambiente	
<b>Marca:</b> Met one instrument <b>Modelo:</b> 094	Sensor de radiación solar	
<b>Marca:</b> GILL INSTRUMENT <b>Modelo:</b> WINDSONIC	Sensor de velocidad y dirección del viento	
<b>Marca:</b> HSA (hidrológica services América) <b>Modelo:</b> TB6	Sensor de precipitación	

Adaptado de amb.gov.co

Además, la AMB realiza mediciones periódicas en diferentes puntos de los municipios, donde se evalúan vehículos particulares, motocicletas, vehículos de transporte público, etc. Con el fin de hacer cumplir las normas de regulación establecidas, ya sean resoluciones o normas técnicas. En la siguiente ficha se encuentra el registro de los operativos de control realizados en el año 2019.

Tabla 1.

*Total, mediciones en el municipio de Bucaramanga*

<b>Total, de pruebas por tipo de fuentes móviles</b>				
Municipio	Ciclo otto	Diesel	Motocicleta	Total
Bucaramanga	2.195	699	418	3.312

*Nota:* (Informe fuentes móviles AMB 2019)

La AMB cuenta con el registro mensual de mediciones realizadas en el área metropolitana, así como el porcentaje de vehículos que no aprobaron el operativo, siendo estos los focos de mayor generación de contaminación.

Tabla 2.

*Total, de mediciones por concepto final de prueba.*

<b>Total, mediciones en Bucaramanga</b>			
Municipio	Aprobado	Rechazado	Total
Bucaramanga	1.946	1.366	3.312

*Nota:* (Informe fuentes móviles AMB 2019)

De la tabla 2 se puede observar los resultados según las mediciones aprobadas Vs las rechazadas, para un total de 5.050, resaltando que Bucaramanga es el municipio con el mayor porcentaje de sus vehículos inspeccionados que fueron rechazados con un 42%, seguido de Girón con un 37%, continua Piedecuesta con un 27% y por último Floridablanca con un 21%. Realizando el balance general de las pruebas se encuentra que el 63% de los vehículos inspeccionados aprobó los controles, mientras el 37% restando no aprobó. Lo que aproxima que 1.969 vehículos emanan una cantidad mayor de agentes contaminantes que lo establecido.

En el Área Metropolitana (AMB) de Bucaramanga la población actual se estima en 1'160.272 habitantes, solo en el año 2018 el parque automotor del área metropolitana se registró 675.737 vehículos. Lo que en el área metropolitana se estima un aproximado de 1 vehículo por cada 2 habitantes, a comparación con el año 2010 que se registraban 359.760 vehículos, lo que equivale a un crecimiento del 87% del parque automotriz en el área metropolitana en tan solo 8 años. Es de considerar que entonces los niveles de contaminación ambiental y calidad del aire se incrementaran considerablemente debido al notorio crecimiento del parque automotriz.

Tabla 3.

*Parque automotor en el AMB a diciembre 31 de 2018.*

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Cantidad</b>
Automóvil	101.964
Bus	2.917
Camión	8.508
Motocicleta	43.065

*Nota:* (DTB, 2019)

Tabla 4.

*Total, parque auto motor del municipio de Bucaramanga DTB*

<b>Municipio</b>	<b>Total, parque automotor</b>
Dirección de tránsito de Bucaramanga	220.993

*Nota:* (DTB, 2019)

Es claro que en el AMB tanto la contaminación como la congestión vehicular van en aumento, a lo que cada municipio ha incorporado medidas propias para combatir estos problemas, una de las medidas utilizadas en el municipio de Bucaramanga es el pico y placa, la misma tiene el fin de controlar el flujo vehicular en las principales vías del municipio. Desde hace años opera en Bucaramanga las líneas de Metrolínea, un sistema de transporte masivo que busca desincentivar el uso de vehículo particular individual, para reducir la cantidad de vehículos que circulan en la ciudad, y a su vez la cantidad de agentes emisores de contaminación.

El seguimiento de las estaciones en el área metropolitana presenta un reporte mensual de la calidad del aire, reporte ICA PM 2.5, el cual se toman para analizar los repotes del año 2020 y el mes de diciembre del 2019, con el fin de conocer el comportamiento de la calidad del aire en el área metropolitana. (Ver Anexos – Reporte mensual ICA de los meses diciembre 2019 – abril 2020)

Los niveles de la calidad del aire en el AMB decrecieron en el mes de febrero de acuerdo con lo evidenciado en los reportes presentados “Ver anexos”. En el mes de enero el reporte muestra una concentración entre 6 a 27 (24h – PM2.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) lo cual indicaba que la calidad del aire se encontraba entre buena y moderada. En febrero la calidad del aire se encontraba entre moderada y dañina a la salud de grupos sensibles con valores entre 15 a 47 (24h – PM2.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), lo cual

podría empezar a perjudicar la salud de algunos habitantes del área metropolitana; ya que los niveles máximos permisibles de PM<sub>2.5</sub> para un tiempo de 24 h es de 37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  “Resolución 2254 del 2017”. Esta situación sumada a la actualidad que presentaban las grandes ciudades del país como Bogotá, Cali, Medellín, Cartagena, por lo elevados niveles de contaminación en el aire genero una gran preocupación, por lo cual el municipio opta por establecer medidas más drásticas para reducir estos niveles de contaminación. Aparece entonces una implementada en las grandes capitales, el pico y placa ambiental, con esto se buscaba reducir la cantidad de vehículos circulantes en el municipio. Medida que empezó a regir a mediados del mes de marzo, sin embargo, fue marzo el mes que presente niveles más altos de contaminación del aire. Los primeros días del mes los niveles ICA se movieron de entre amarillo y naranja, a naranja y rojo, los cuales empiezan a ser dañinas para toda la población en general, entre los días 14 y 16 se evidencia una reducción de las concentraciones de agentes contaminantes en el aire, lo cual correspondía a lluvias presentadas entre esos días. Sin embargo, el día 17 se incrementó nuevamente la concentración de agentes contaminantes, presentándose el pico de contaminación el 20 de marzo, por lo cual la medida de pico y placa ambiental fue muy criticada. En el mismo mes de marzo se presenta la problemática de salud pública a nivel mundial provocada por la pandemia coronavirus (COVID-19), por lo cual se decreta en todo el territorio nacional cuarentena durante 15 días, dando inicio el 21 de marzo, mediante esta medida redujo notoriamente el flujo vehicular circulante en el área metropolitana. Pese a esto los niveles de contaminación permanecían en color rojo (dañino a la salud), sin embargo, luego de transcurrido los primeros días de la cuarentena los niveles de contaminación se redujeron entre un 60 y 70%, los cambios se reflejaron en los primeros días del mes de abril. Esta situación dejo muchas incertidumbres, por lo cual se requería de un análisis exhaustivo para conocer los motivos por el cual la contaminación en el mes de marzo se incrementó.

En el mes de abril en la página de la AMB se presenta un informe donde se analiza el episodio crítico en la calidad del aire del área metropolitana presentada en marzo. En el cual concluye que los niveles de contaminación en la calidad del aire se incrementó producto de los vientos provenientes del noreste del país, esto produjo el transporte de agentes contaminantes asociados a la combustión de biomasa en Colombia y Venezuela, además de crecientes incendios que son recurrentes en zonas del río Orinoco.

El reporte mensual del mes de abril presenta una notoria disminución de agentes contaminantes en el aire, esto producto de la cuarentena nacional, por lo cual no fue posible estimar la eficacia del pico y placa ambiental como medida de mitigación. Debido a la anomalía presentada en el primer semestre del año 2020 se debe recurrir al historial o reporte histórico de contaminación en el área metropolitana de Bucaramanga a fin de llevar a cabo el estudio deseado.

La cuarenta se mantuvo en todo el territorio nacional hasta el 1 de julio según el último informe presidencial, teniendo en cuenta que esta puede sufrir modificaciones futuras según el comportamiento de la cantidad de contagios en el territorio nacional. Por lo cual el estudio a realizar puede ser un estimado o aproximado de la situación que realmente presenta el municipio.

En Colombia, se cuenta con el IDEAM, el cual es una institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental. Esta institución genera conocimiento, produce información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, de modo que facilite la definición y ajustes de las políticas ambientales y la toma de decisiones por parte de los sectores público, privado y la ciudadanía en general.

La definición del SIAC (Sistema de información ambiental de Colombia) bajo la convención de las Naciones Unidas sobre el cambio climático destaca “Los gases de efecto

invernadero como el CO<sub>2</sub>, el metano, los óxidos nitrosos y los clorofluorocarbonados se acumulan y aumentan su concentración en la delgada y delicada capa atmosférica. Como consecuencia de este fenómeno una considerable porción de radiación infrarroja terrestre está quedando atrapada y la temperatura de la tierra está aumentando, el aumento de la temperatura global puede significar en el mediano plazo cambios en los patrones climáticos y en consecuencia en los ecosistemas, afectando directamente la vida en el planeta, lo que a su vez se traduce en potenciales desequilibrios económicos y en una disminución de los recursos naturales disponibles para la vida en La Tierra.”

Por lo cual el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece en la resolución 910 del 2008 los niveles permisibles de agentes contaminantes producidos por fuentes móviles. Resolución que fue modificada en la Resolución 1111 del 2 de septiembre del 2013, en el cual se establecen los nuevos niveles permisibles de acuerdo con la categoría de la fuente móvil.

### 3. Objetivos

#### 3.1 Objetivo general

Mediante un modelo, determinar la cantidad de Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producida por las fuentes móviles matriculadas en la ciudad de Bucaramanga.

#### 3.2 Objetivos específicos

Establecer la cantidad de vehículos matriculados en la ciudad de Bucaramanga con la base de datos de la Dirección de Tránsito de Bucaramanga

Determinar los puntos de estudio de emisión de gases contaminantes del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB)

Realizar aforos vehiculares en las horas pico, en las vías cercanas a los puntos de estudio de emisiones que posee el AMB.

Plantear soluciones para mitigar el problema de las emisiones de CO<sub>2</sub> en Bucaramanga.

#### 4. Metodología

Para el desarrollo de esta investigación y basados en el modelo MOVES se aplicó la ecuación:

$$E_{ij} = FE_{ij} * DA_j * VC_j \quad (1)$$

Dónde:  $E_{ij}$  : Emisiones totales de  $i$  contaminante y  $j$  categoría vehicular.

$FE_{ij}$  : El factor de emisión de  $i$  contaminante y  $j$  categoría vehicular (en gr/km).

$DA_j$  : Dato de actividad de  $j$  categoría vehicular para un vehículo (en km /día o año).

$VC_j$ : El número de vehículos de  $j$  categoría.

Además, se usó la guía práctica para el cálculo de emisiones de GEI de la oficina catalana del *canvi climatic*, la cual ofrece factores de emisión de los diferentes tipos de fuentes móviles en función del cilindraje de los vehículos, peso máximo que soportan, tipo de motor, entre otros.

También, se realizaron aforos vehiculares para hacer una estimación de los vehículos que circulan hoy por hoy en la ciudad, ya que la situación de emergencia sanitaria por el covid-19 ha producido que muchas de las fuentes móviles que antes circulaban diariamente, estén en un cese de actividades debido al aislamiento preventivo que se ha decretado por parte de los entes gubernamentales.

Estos aforos se realizaron en el mes de julio del año 2020 (tiempo en el cual, los gobiernos locales decretaron el cese del aislamiento preventivo total debido al covid-19) dicha toma de datos

tuvo lugar en los tres principales parajes de la ciudad donde la amb posee estaciones para la medición de la calidad del aire, los cuales son:

- Estación San Francisco (Colegio normal superior de Bucaramanga, CRA27#29-69)
- Estación real de minas (Calle de los estudiantes, ciudadela real de minas)
- Estación Lagos del Cacique (Oriental transversal, instituto Caldas)

#### **4.1 Categoría vehicular**

Para la estimación de la cantidad de CO<sub>2</sub> emitidas por las fuentes móviles de la ciudad de Bucaramanga se discretizaron los tipos de vehículos de la siguiente forma:

- Motocicletas
- Vehículos particulares
- Buses
- Taxis
- Camiones

#### **4.2 Número de vehículos por categoría**

Gracias a la base de datos de la Dirección de Tránsito de Bucaramanga (DTB), se obtuvo el número y tipos de vehículos que circulan en la ciudad. Estos datos corresponden a la fecha del 5/07/2020 por ende, son números actualizados del parque automotor.

Además de la categoría de vehículos se contó con los datos de cilindraje, marca y modelos de las fuentes móviles matriculados en la ciudad de Bucaramanga.

### 4.3 Factor de emisión de CO<sub>2</sub> por vehículo

Como se expuso anteriormente la cantidad de CO<sub>2</sub> están en función de diferentes factores como: el tipo de vehículo, el uso o no de tecnologías complementarias (aire acondicionado), tipo de combustible usado.

#### 4.3.1 Factor de emisión de CO<sub>2</sub> para taxis y vehículos particulares

Basados en la guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la oficina catalana del canvi climatic, para vehículos particulares y taxis se usó la siguiente tabla.

Tabla 5.

*Cantidad de (gCO<sub>2</sub>/Km) en función del cilindraje y velocidad promedio por parte de vehículos particulares y taxis.*

Combustible	Cilindrada	Emisiones en función de la velocidad		
		Urbana (21km/h)	Media(70 km/h)	Alta (107Km/h)
Gasolina	<1.4 l	205,87	135,96	156,60
	1,4 – 2,0 l	252,62	157,34	173,33
	>2 l	344,32	192,88	220,33
Diesel	< 2 l	215,90	134,54	160,68
	> 2 l	265,94	169,62	202,22
Hibrido	Cualquiera	105,43	101,86	129,44
GLP	Cualquiera	175,95	136,10	175,07

*Nota:* (climatic, 2013)

### 4.3.2 Factor de emisión de CO<sub>2</sub> para camiones

Para la estimación de factor de emisión de camiones se usó el siguiente tabla:

Tabla 6.

*Cantidad de (gCO<sub>2</sub>/Km) en función de la capacidad y velocidad promedio por parte de vehículos pesados.*

Vehículo	Tipo		Emisiones en función de la velocidad		
			Urbana (21km/h)	Media (70 km/h)	Alta (107Km/h)
Pesado Diesel (camión)	Rígido	<=14t	205,87	135,96	156,60
		>14t	252,62	157,34	173,33
Pesado Diesel (camión)	Art	<=34t	344,32	192,88	220,33
		>34t	215,90	134,54	160,68

*Nota:* (climatic, 2013)

### 4.3.3 Factor de emisión de CO<sub>2</sub> para motocicletas

Para la estimación de factor de emisión de motocicletas se usó la siguiente tabla:

Tabla 7.

*Cantidad de (gCO<sub>2</sub>/Km) en función del tipo de motor y velocidad promedio por parte de motocicletas.*

Vehículo	Clasificación	Emisiones en función de la velocidad		
		Urbana (21km/h)	Media (70 km/h)	Alta (107Km/h)
Ciclomotor	Convencionales	79,58	-	-
	Media clase s	39,87	-	-

Tabla 7. (Continuación)

Vehículo	Clasificación	Emisiones en función de la velocidad		
		Urbana (21km/h)	Media (70 km/h)	Alta (107Km/h)
Motocicletas	2tiempos<250cc <sup>3</sup>	105,22	85,87	126,32
	4tiempos<250cc <sup>3</sup>	83,03	80,56	108,48
	4tiempos250cc <sup>3</sup> -750cc <sup>3</sup>	134,71	105,73	138,00
	4tiempos>7550cc <sup>3</sup>	169,37	123,60	149,01

Nota: (climatic, 2013)

#### 4.3.4 Factor de emisión de CO<sub>2</sub> para buses

Para la estimación de factor de emisión de buses se usó la siguiente Tabla:

Tabla 8. Cantidad de (gCO<sub>2</sub>/Km) en función de la clasificación y velocidad promedio por parte de buses.

Vehículo	Clasificación	Emisiones en función de la velocidad		
		Urbana (21km/h)	Media (70 km/h)	Alta (107Km/h)
Bus	Estándar <=18t	1873,20	721,12	596,21
	3 ejes >18t	2211,94	810,13	665,10

Nota: (climatic, 2013)

#### 4.4 Actividad por cada tipo de vehículo

Para encontrar este factor se realizó una encuesta vía online a los conductores de los diferentes tipos de vehículos, la cual además de poder estimar un número de km recorridos por día,

tuvo como propósito saber entre otros aspectos como: velocidad promedio de circulación, uso o no del aire acondicionado. Índice de ocupación y tipo de combustible usado.

Evidentemente las categorías que más km recorren al año son las taxis, motocicletas, buses y camiones, esto asociado a la actividad laboral que desarrollan día a día en el país.

## 5. Resultados

### 5.1 Encuesta

Los resultados de la encuesta realizada para conocer la velocidad promedio y la actividad diaria (Km/día) de los diferentes tipos de vehículos se muestran a continuación:

Tabla 9.

*Tipo de vehículo, velocidad promedio y distancia recorrida.*

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Vel promedio (Km/h)</b>	<b>Distancia recorrida al día (Km)</b>
Vehículo particular	60	35
Taxi	50	85
Bus	50	150
Camión	40	150
Motocicleta	60	40

## 5.2 Número de vehículos por categoría

Según la discretización escogida de las fuentes móviles matriculadas en la ciudad de Bucaramanga y que circulan en ella, el número de vehículos por tipo, como se mencionó con anterioridad se obtuvieron gracias a la base de datos de la dirección de tránsito de Bucaramanga, los cuales están actualizados a la fecha.

Tabla 10.

*Total, número de vehículos matriculados en la ciudad de Bucaramanga por categoría.*

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Número de vehículos</b>
Vehículo particular	142.650
Taxi	3.536
Bus	1.957
Camión	7.228
Motocicleta	44.185
Total	199.556

## 5.3 Factor de emisión de CO<sub>2</sub> de cada tipo de vehículo

Para encontrar el factor de emisión por vehículo se tomó de la base de datos de la dirección de tránsito de Bucaramanga el cilindraje de cada fuente móvil (para vehículos particulares y taxis), en función del modelo de fabricación se determinó el tipo de motor (para motocicletas), se estimó el tipo de camión (<14t ya que son los que transitan por la ciudad), y se clasificaron a los buses como estándar (<18t) y a través de la encuesta online realizada se pudo obtener un valor de km recorridos diarios promedio de los diferentes tipos de fuentes móviles que transitan en la ciudad capital del departamento de Santander.

Los resultados obtenidos estuvieron asociados con la guía para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero de la oficina catalana del canvi climatic.

### 5.3.1 Velocidad promedio de circulación en la ciudad (por categoría de vehículo).

Con el objetivo de conocer el dato de la velocidad promedio con la que transitan las diferentes fuentes móviles de la ciudad se implementó una encuesta como se mencionó con anterioridad, los datos recorridos fueron suministrados por personas que manejan algún tipo de vehículo o bien son propietarios de alguno. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 11.

#### *Velocidad promedio por tipo de vehículo*

Tipo de vehículo	Velocidad promedio (Km/h)
Vehículo particular	60
Taxi	50
Bus	50
Camión	40
Motocicleta	60

### 5.3.2 Factor de emisión de CO<sub>2</sub> para vehículos particulares y taxis.

Para determinar el factor de emisión de vehículos particulares y taxis, fue necesario el uso de dos ítems, el cilindraje del vehículo y la velocidad promedio con la transitan).

Como primera medida se establecieron 3 rangos para el cilindraje de los vehículos particulares y taxis (menores a 1400 cc, entre 1400cc y 2000cc y mayores a 2000cc).

Se obtuvieron entonces los siguientes resultados:

Tabla 12.

*Número de vehículos matriculados en Bucaramanga en función del tipo y cilindraje*

<b>Tipo de vehículo y cilindraje</b>	<b>Cantidad</b>
Vehículo particular (<1400cc <sup>3</sup> )	43.312
Vehículo particular (<1400cc <sup>3</sup> -2000cc <sup>3</sup> )	56.172
Vehículo particular (>2000cc <sup>3</sup> )	37.838
Taxi (<1400cc <sup>3</sup> )	1.898
Taxi (<1400cc <sup>3</sup> -2000cc <sup>3</sup> )	7.511
Taxi (>2000cc <sup>3</sup> )	127

*Nota:* (DTB, 2020).

Tabla 13.

*Factor de emisión de CO<sub>2</sub> en función del tipo de vehículo y rango de cilindraje*

<b>Tipo de vehículo y cilindraje</b>	<b>F.E (gCO<sub>2</sub>/Km)</b>
Vehículo particular (<1400cc <sup>3</sup> )	205,87
Vehículo particular (<1400cc <sup>3</sup> -2000cc <sup>3</sup> )	252,62
Vehículo particular (>2000cc <sup>3</sup> )	344,32
Taxi (<1400cc <sup>3</sup> )	105,43
Taxi (<1400cc <sup>3</sup> -2000cc <sup>3</sup> )	105,43
Taxi (>2000cc <sup>3</sup> )	105,43

*Nota:* (climatic, 2013)

### **5.3.3 Factor de emisión de CO<sub>2</sub> para camiones.**

Con el fin de estimar el valor de emisión se tuvieron en cuenta también dos factores, el tipo de camión (rígido o articulado con el peso que puede llegar a cargar) y la velocidad promedio.

Tabla 14.

*Factor de emisión CO<sub>2</sub> para camión rígido*

Tipo de vehículo y peso	F.E (gCO <sub>2</sub> /Km)
Camión rígido (<14t)	758,53

*Nota:* (climatic, 2013)

**5.3.4 Factor de emisión de CO<sub>2</sub> para motocicletas.**

Con la finalidad de realizar el cálculo de este factor se tuvo en cuenta dos aspectos, el cilindraje de la motocicleta, el tipo de motor y la velocidad promedio con la que circulan en la ciudad

Para encontrar el número de motocicletas menores a 250cc y con motor 2 tiempos, se estimó un porcentaje del 20% (valor asociado al modelo de fabricación de cada una de las motocicletas) ya que a la fecha muchas de estas motos han salido del mercado debido justamente a las altas tasas de contaminación que puede llegar a producir.

Mencionado lo anterior, los resultados de tipo de motor y cilindrada, que se obtuvieron fueron los siguientes:

Tabla 15.

*Cilindraje y tipo de motor de las motocicletas matriculadas en la ciudad de Bucaramanga.*

Cilindraje	2 tiempos	4 tiempos
Menor a 250cc	8.592	34.368
Entre 250cc y 750 cc	-	996
Mayores a 750cc	-	229

De la tabla 15 y conociendo la velocidad promedio de las motos que circulan en la ciudad, se estimaron los factores de emisión de CO<sub>2</sub> para las diferentes categorías de motocicletas.

Tabla 16.

*Factor de emisión de CO<sub>2</sub> en función del tipo de motor y rango de cilindraje*

<b>Cilindraje</b>	<b>F.E (gCO<sub>2</sub>/Km)</b>
<250 cc (2 tiempos)	105,22
<250 cc (4 tiempos)	83,03
250 cc – 750cc (4 tiempos)	134,71
>750 cc (4 tiempos)	169,37

*Nota:* (climatic, 2013)

### 5.3.5 Factor de emisión de CO<sub>2</sub> para buses.

En vista de que los buses que transitan en la ciudad son de categoría estándar, es decir, el peso que transportan es de un máximo de 18 toneladas, el número de buses para calcular el factor de emisión son los mismos correspondientes a la tabla 4.

Dado que el valor de velocidad promedio de los buses que circulan en Bucaramanga es de 50 km/h, el factor de emisión correspondiente a los buses es:

Tabla 17.

*Factor de emisión de CO<sub>2</sub> para Bus estándar*

<b>Tipo de vehículo y peso</b>	<b>F.E.T (gCO<sub>2</sub>/Km)</b>
Bus estándar (<18t)	1.873,20

*Nota:* (climatic, 2013)

## 5.4 Actividad por categoría de vehículo

Tabla 18.

*Promedio de kilómetros recorridos por los diferentes tipos de vehículos.*

Tipo de vehículo	Distancia recorrida al día (Km)
Vehículo particular	35
Taxi	85
Bus	150
Camión	150
Motocicleta	40

## 5.5 Emisiones totales por categoría

Ya obtenido los valores de factor de emisión, actividad número de vehículos y km recorridos por día se procedió a calcular el dato de emisión total por tipo de vehículo.

### 5.5.1 Emisión de CO<sub>2</sub> total de vehículos particulares y taxis

En el siguiente tabla de muestra la cantidad total de CO<sub>2</sub> emitidos por los vehículos particulares y taxis en función de su cilindraje, km recorridos por día y cantidad de vehículos.

Tabla 19.

*Emisión total en función del rango de cilindraje de vehículos particulares y taxis.*

Tipo de vehículo y cilindraje	F.E.T (gCO <sub>2</sub> /día)
Vehículo particular (<1400cc <sup>3</sup> )	312'082.450
Vehículo particular (<1400cc <sup>3</sup> -2000cc <sup>3</sup> )	496'655.972

Tabla 19. (Continuación)

Tipo de vehículo y cilindraje	F.E.T (gCO <sub>2</sub> /día)
Vehículo particular (>2000cc <sup>3</sup> )	455'993.306
Taxi (<1400cc <sup>3</sup> )	17'009.022
Taxi (<1400cc <sup>3</sup> -2000cc <sup>3</sup> )	6'730.124
Taxi (>2000cc <sup>3</sup> )	1'138.117
Total	1.289'608.991

Haciendo la conversión de g a ton se tiene que:

$$Eco2vpyt = 1.289,6 \text{ TonCO}_2/\text{dia}$$

### 5.5.2 Emisión de CO<sub>2</sub> total de camiones.

Tabla 20.

Emisión de CO<sub>2</sub> total de los camiones.

Tipo de vehículo y peso	F.E.T (gCO <sub>2</sub> /día)
Camión rígido (<14t)	854'924.226

Haciendo la conversión de g a ton se tiene que:

$$Eco2c = 854,92 \text{ TonCO}_2/\text{dia}$$

### 5.5.3 Emisión de CO<sub>2</sub> total de motocicletas

En el campo de los vehículos de dos ruedas el resultado de CO<sub>2</sub> se obtuvo de la sumatorias de emisión de categoría de motocicleta.

En el siguiente tabla se muestra la emisión de CO<sub>2</sub> producida por tipo de motocicleta y la emisión total.

Tabla 21.

*Emisión de CO<sub>2</sub> total en función del rango de cilindraje y el tipo de motor de las motocicletas.*

Cilindraje	F.E.T (gCO <sub>2</sub> /día)
<250 cc (2 tiempos)	36'162.010
<250 cc (4 tiempos)	114'143.002
250 cc – 750cc (4 tiempos)	5'366.846
>750 cc (4 tiempos)	1'551.429
<b>Total</b>	<b>157'223.287</b>

Haciendo la conversión de g a ton se tiene que:

$$Eco2m = 157,22 \text{ TonCO}_2/\text{dia}$$

### 5.5.4 Emisión de CO<sub>2</sub> total de buses

Para la categoría de vehículos de transporte público (teniendo en cuenta que los buses que transitan en la ciudad son categorizados como estándar <18t) el resultado fue el siguiente:

Tabla 22. *Emisión de CO<sub>2</sub> total de buses.*

Tipo de vehículo y peso	F.E.T (gCO <sub>2</sub> /día)
Bus estándar (<18t)	549'877.860

Haciendo la conversión de g a ton se tiene que:

$$Eco2m = 549,87 \text{ TonCO}_2/\text{dia}$$

### **5.6 Emisión de CO<sub>2</sub> por parte del parque automotor matriculado en la ciudad de Bucaramanga.**

Realizando la sumatoria de la emisión de CO<sub>2</sub> producida (en TonCO<sub>2</sub>/día) por todas las fuentes móviles matriculadas en la ciudad de Bucaramanga.

Se obtiene que:

$$Eco2total = 1.289,6 + 854,92 + 157,22 + 549,87$$

$$Eco2total = 2.851,61 \text{ TonCO}_2/\text{dia}$$

Lo que equivale a una emisión anual de:

$$Eco2total = 1'040.837,65 \text{ TonCO}_2/\text{año}$$

### 5.7 Cuantía económica asociada a la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub>/día.

A la fecha actual (16/07/2019) el costo de emisión por tonelada de CO<sub>2</sub> es de aproximadamente 26,71 euros, según el último cierre hecho por el SEDECO<sub>2</sub>. (Sistema Europeo de Negociación de CO<sub>2</sub>, 2020)

Entonces el costo asociado a la emisión de CO<sub>2</sub> producido por el parque automotor matriculado en la ciudad de Bucaramanga sería de:

$$CE_{CO_2} = 26,71 \frac{\text{€}}{\text{ton}} * 2.851,61 \frac{\text{ton}}{\text{día}}$$

$$CE_{CO_2} = 76.611,50 \text{ €/día}$$

El precio por año sería:

$$CE_{CO_2} = 26,71 \frac{\text{€}}{\text{ton}} * 1'040.837,65 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

$$CE_{CO_2} = 27'800.773,6 \text{ €/año}$$

## 6. Conclusiones

La cantidad de vehículos matriculados actualmente en la ciudad de Bucaramanga es de 199.556 entre carros particulares, taxis, buses, motocicletas y camiones.

Los puntos principales de estudio de gases contaminantes en la ciudad de Bucaramanga se encuentran en 3 estaciones, las cuales son: Estación san Francisco (cra 27#-29-69), estación real de minas (ciudadela calle de los estudiantes 9-323) y estación instituto caldas (transversal oriental lagos del cacique)

Los aforos se ejecutaron en los parajes mencionados con anterioridad, cabe recalcar que la cantidad de vehículos aforados se vio drásticamente disminuida debido a la situación de emergencia sanitaria por Covid-19 que vive el país y el mundo, el detalle de dichos aforos se encuentran en los anexos de este artículo.

Dada la situación actual, el recomendar el uso de transporte público para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> no es la mejor solución, ya que esto supondría un aumento de los casos de contagios de covid-19 que vive el país, sin embargo en un escenario libre de enfermedades epidemiológicas sería un sistema de transporte eficiente; no obstante el uso de otros medios transporte ya sea bicicletas, vehículos eléctricos o caminar, podrían causar un impacto representativo a la hora cuantificar la emisión de CO<sub>2</sub> producida en la ciudad.

La cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub>/año producidas por el parque automotor matriculado en la ciudad de Bucaramanga fue de 1'040.837,65 TonCO<sub>2</sub>/AÑO y el valor de cuantía asociado a esta cifra fue de 27'800.773,6 €/año, la cual adaptándola al contexto colombiano sería alrededor de  $1,15 \cdot 10^{15}$  COP/año. Se establece la comparación con respecto a la inversión en el plan de desarrollo de la ciudad de Bucaramanga, que está en 2.9 billones de pesos comprendido entre los años 2020 al 2023, claramente una cuantía anual muy superior. Entonces al año para igualar el costo de CO<sub>2</sub> producido por el parque automotor de la ciudad de Bucaramanga, habrá que pagar 396 veces el valor del plan de desarrollo de los años 200-2023. Cabe aclarar que estas cifras en la actualidad no se evidencian de manera estricta, debido a la pandemia que se vive actualmente y en

pro de la salud de los colombianos el gobierno ha declarado aislamiento preventivo, medida que ha impactado significativamente en la movilidad del transporte en la ciudad de Bucaramanga.

Estos valores de la polución se incrementan para Bucaramanga, ya que es muy difícil cuantificar los vehículos que realmente circulan por las vías de la ciudad, ya que muchos de ellos se encuentran matriculados en los otros municipios del AMB y en otros municipios del país.

## **7. Futuros trabajos de investigación**

El transporte al ser parte esencial de una sociedad requiere cambios, para garantizar el bien común a nivel económico y social. El poder combatir la gran emisión de gases contaminantes deber ir en función de un cambio sustancial de los medios en que se movilizan los ciudadanos del municipio de Bucaramanga. Incentivar el uso de medios de transporte sostenible como la bicicleta, caminar o incluso migrar hacia los vehículos eléctricos y mostrar los resultados que surgen a raíz del uso de estos tipos de movilidad, se convierte en la tarea de futuros compañeros para aplacar las grandes cantidades de emisiones de gases que se producen hoy por hoy en la ciudad.

El CO<sub>2</sub> no es el único GEI que se produce en la combustión de los motores de las principales fuentes móviles de la ciudad, existen también, gases como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), hidrocarburos y compuestos de plomo, los cuales tienen un impacto directo en la salud y medio ambiente de los bumangueses.

Generar modelos locales a partir de la información que posee el AMB y realizar estudios sobre estos GEI emitidos por las diferentes fuentes móviles matriculados en el municipio, se hace

de vital importancia para mostrar a la sociedad el cambio radical que se debe hacer en la movilización en pro del bienestar general.

## Referencias

- Giraldo Amaya, L., & Behrentz, E. (2006). *Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad*. Bogotá: Universidad De los Andes
- González Castillo, M. (2019). Estimación de emisiones atmosféricas producidas por las motos y el transporte público en Cartagena - Colombia. *Universidad Tecnológica de bolivar*, 14-65
- Javier, J. (2013). Análisis del transporte masivo y la. *Universidad y empresa* , 15-23
- Marchetti, D., Oliveira, R., & Roder Figueira, A. (2019). Are global north smart city models capable to assess Latin American cities? A model and indicators for a new context. *Cities*, 197-207. Obtenido de [www.elsevier.com/locate/cities](http://www.elsevier.com/locate/cities)
- McCarthy, N. (18 de 2 de 2020). *World Economic Forum*. Obtenido de <https://www.weforum.org/agenda/2020/02/the-economic-burden-of-air-pollution/>
- McNabola, A., Perugu, H., & Alam, M. (2018). A comparison of route-choice navigation across air pollution exposure, CO2 emission and traditional travel cost factors. *Transportation Research Part D*, 82-100. Obtenido de [www.elsevier.com/locate/trd](http://www.elsevier.com/locate/trd)
- Mejía , D., & Layza, M. (2018). *Tránsito y congestión vehicular en la contaminación sonora en vías de transporte público*. Trujillo: UCV.
- Metropolinata. (2019). Obtenido de AMB: <https://www.amb.gov.co/fuentes-moviles/>
- Muñoz, J. P., & Anguita, F. (2019). La tarificación vial en el marco de las políticas de transporte urbano. Un estudio empírico sobre su aceptabilidad social y eficacia en la ciudad de Madrid. *SciELO*

Percoco, M. (2013). Is road pricing effective in abating pollution? evidence from milan.

*Transportation Research Part D*, 112-118. Obtenido de [www.elsevier.com/locate/trd](http://www.elsevier.com/locate/trd)

Peroco, M. (2013). The effect of road pricing on traffic composition: Evidence from a natural

experiment in Milan, Italy. *Transport Policy*, 55-60. Obtenido de [www.elsevier.com/locate/tranpol](http://www.elsevier.com/locate/tranpol)

Thompson, I., & Bull, A. (2001). *La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales*. Santiago de Chile.

Sistema Europeo de Negociación de CO2. Sedeco2 <http://www.sedeco2.com/es/>. [Citado el 16 de julio de 2020]

Oficina catalana del canvi climatic (2013). *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero 3-8*

Apéndices

Apéndice A. Reporte Mensual ICA PM2.5 (01/12/2019 – 31/12/2019)

UBICACIÓN	DÍA																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1 BUCARAMANGA COLEGIO NORMAL	11	14	14	16	17	16	17	10	11	16	16	13	13	14	12	14	15	14	13	16	20	18	17	17	15	10	11	15	16	14	9
2 BUCARAMANGA INSTITUTO CALDIAS	12	15	16	17	20	18	21	12	12	17	19	15	14	19	13	15	18	15	16	17	20	19	18	19	19	9	11	14	18	16	10
3 BUCARAMANGA COLEGIO NUESTRA SEÑORA DEL PILAR	11	13	12	15	18	16	15	10	10	15	*	5	12	11	26	16	11	13	14	16	17	15	15	14	9	10	14	15	13	9	

**Apéndice B. Reporte Mensual ICA PM 2.5 (01/01/2020 – 31/01/2020)**

UBICACION	DÍA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	<b>1</b> BUCAJAMANSÁ COLEGIO NORMAL	11	12	16	16	17	15	16	16	16	20	19	20	20	19	20	20	22	22	20	22	22	14	14	7	10	10	13	12	12	15	16	16
<b>2</b> BUCAJAMANSÁ INSTITUTO CALDIAS	14	14	17	19	20	18	19	19	19	21	21	22	24	20	21	22	25	22	23	23	16	16	7	11	11	12	14	13	15	15	19	19	26
<b>3</b> BUCAJAMANSÁ COLEGIO NUESTRA SEÑORA DEL PILAR	12	12	14	15	15	13	15	16	16	18	17	18	18	19	18	21	18	18	19	19	16	15	6	9	10	11	12	11	12	15	13	21	

**Apéndice C. Reporte Mensual ICA PM2.5 (01/02/2020 – 29/02/2020)**

ESTACIÓN DÍA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
EST. SAN FRANCISCO	25	23	24	25	23	28	30	34	33	36	35	36	39	37	32	21	22	29	32	32	25	20	20	19	27	30	30	30	35
EST. LAGOS DEL CAOQUE	27	28	27	28	29	33	34	43	40	41	38	44	47	44	35	25	32	37	37	29	23	21	22	31	35	33	40	41	
EST. LA CIUDADELA	15	21	21	22	22	27	22	32	*	28	33	34	32	27	19	19	27	29	26	19	*	17	17	23	25	25	29	32	

**Apéndice D. Reporte Mensual ICA PM2.5 (01/03/2020 – 31/03/2020)**

ESTACIÓN DÍA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1. EST. SAN FRANCISCO	41	34	39	46	43	53	65	51	52	66	52	62	51	36	33	59	69	84	88	98	64	77	81	52	78	78	91	70	84	98	75 *
2. EST. LAGOS DEL CACIQUE	50	41	47	59	50	60	76	55	55	73	56	62	50	36	33	59	79	93	97	96	54	71	83	78	64	70	95	67	73	82	66 *
3. EST. LA CIUDADELA	37	29	34	44	38	46	56	43	44	51	41	51	40	27	25	38	48	61	54	56	42	45	49	53	62	53	**	**	**	**	**



**Apéndice F. Encuesta realizada en el municipio de Bucaramanga**

1. ¿Qué tipo de vehículo conduce?
  - Vehículo particular
  - Bus
  - Taxi
  - Motocicleta
  - Camión
  - Otro. ¿Cual?
  
2. ¿Cuál es el promedio de velocidad con el que maneja?
  - Entre 10 a 30 Km/h
  - Entre 30 a 50 Km/h
  - Entre 50 a 70 Km/h
  - Más de 70 Km/h
  
3. ¿Cuál es la distancia en Kilómetros que recorre diariamente en su vehículo?
  - Entre 1 a 10 Km
  - Entre 10 a 30 Km
  - Entre 30 a 50 Km
  - Entre 50 a 70 Km
  - Entre 70 a 100 Km
  - Entre 100 a 150 Km

- Más de 150 Km

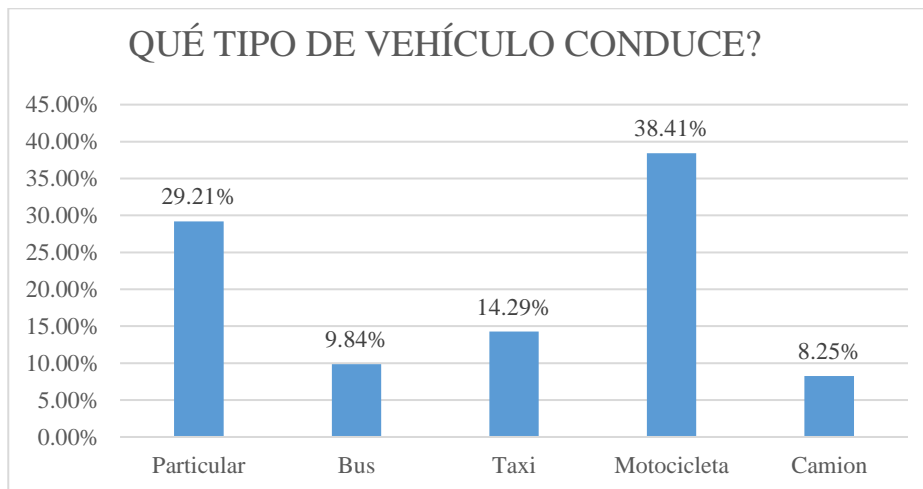
4. ¿Qué tipo de combustible utiliza su vehículo?

- Gasolina corriente
- Gasolina Extra
- Diésel
- Gas natural vehicular
- Biodiésel
- Otra. ¿Cuál?

**Apéndice G. Resultados generales de la encuesta****Resultados generales de la encuesta**

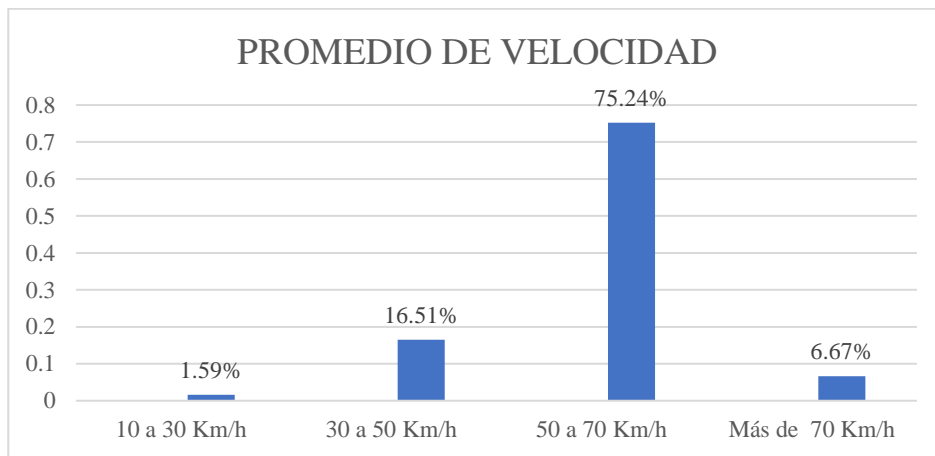
¿Qué tipo de vehículo conduce?

Vehículo	Porcentaje	Cantidad
Particular	29.21%	92
Bus	9.84%	31
Taxi	14.29%	45
Motocicleta	38.41%	121
Camión	8.25%	26
Total	100.00%	315



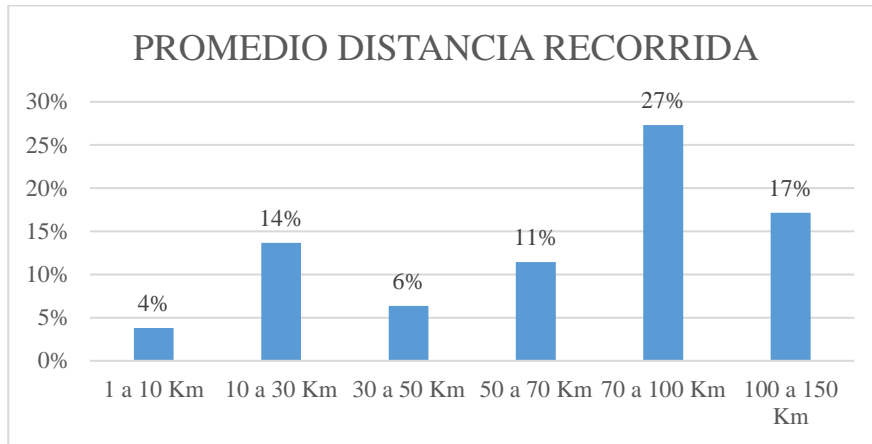
¿Cuál es el promedio de velocidad con el que maneja?

Velocidad	Porcentaje	Cantidad
10 a 30 Km/h	1.59%	5
30 a 50 Km/h	16.51%	52
50 a 70 Km/h	75.24%	237
Más de 70 Km/h	6.67%	21
Total	100.00%	315



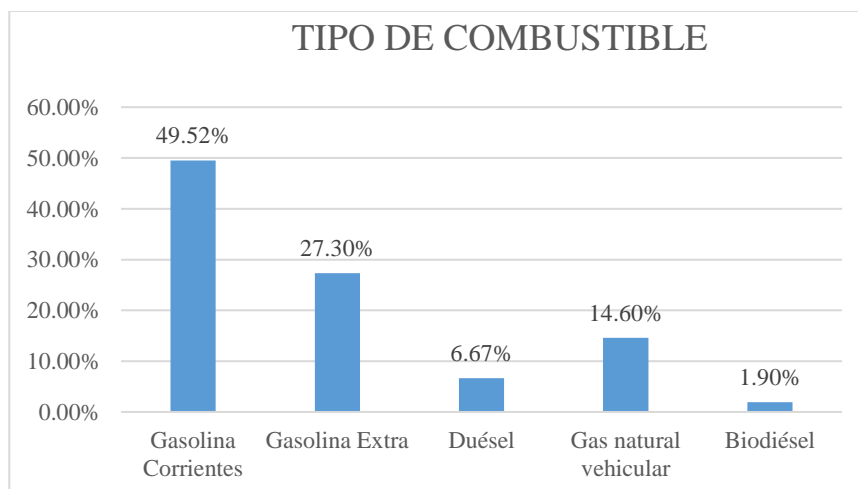
¿Cuál es la distancia en Kilómetros que recorre diariamente en su vehículo?

Distancia	Porcentaje	Cantidad
1 a 10 Km	4%	12
10 a 30 Km	14%	43
30 a 50 Km	6%	20
50 a 70 Km	11%	36
70 a 100 Km	27%	86
100 a 150 Km	17%	54
Más de 150 Km	20%	64
Total	100%	315



¿Qué tipo de combustible utiliza su vehículo?

Tipo de Combustible	Cantidad	Porcentaje
Gasolina Corrientes	156	49.52%
Gasolina Extra	86	27.30%
Diésel	21	6.67%
Gas natural vehicular	46	14.60%
Biodiésel	6	1.90%
<b>Total</b>	<b>315</b>	<b>100.00%</b>



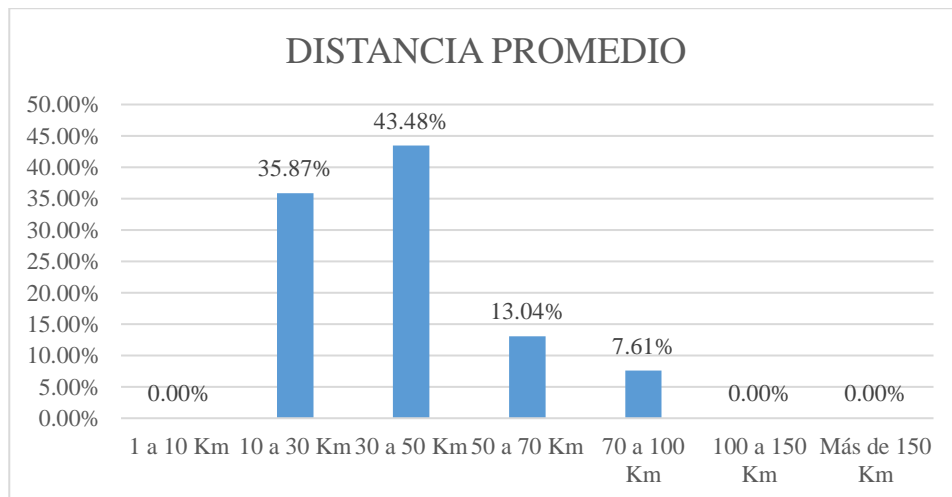
**Apéndice H. Resultados discriminados por tipo de vehículo**

**Resultados discriminados por tipo de vehículo**

- **VEHÍCULO PARTICULAR**

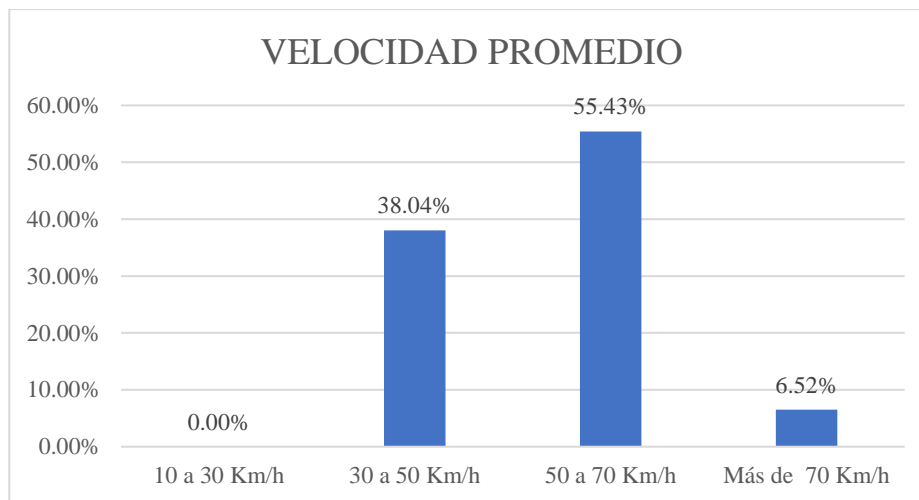
¿Cuál es la distancia en Kilómetros que recorre diariamente en su vehículo?

Distancia	Porcentaje	Cantidad
1 a 10 Km	0.00%	0
10 a 30 Km	35.87%	33
30 a 50 Km	43.48%	40
50 a 70 Km	13.04%	12
70 a 100 Km	7.61%	7
100 a 150 Km	0.00%	0
Más de 150 Km	0.00%	0
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>	<b>92</b>



¿Cuál es el promedio de velocidad con el que maneja?

Velocidad	Porcentaje	Cantidad
10 a 30 Km/h	0.00%	0
30 a 50 Km/h	38.04%	35
50 a 70 Km/h	55.43%	51
Más de 70 Km/h	6.52%	6
Total	100.00%	92

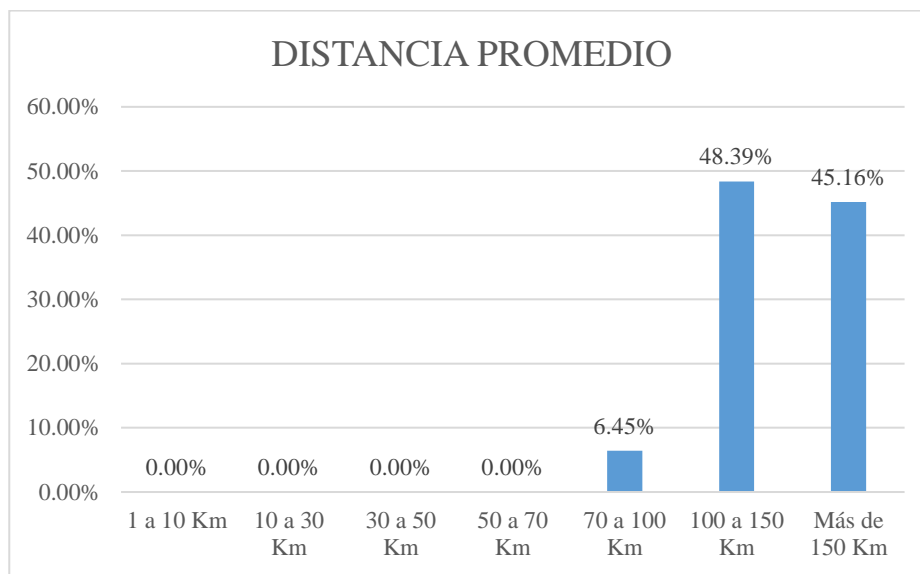


- BUS

¿Cuál es la distancia en Kilómetros que recorre diariamente en su vehículo?

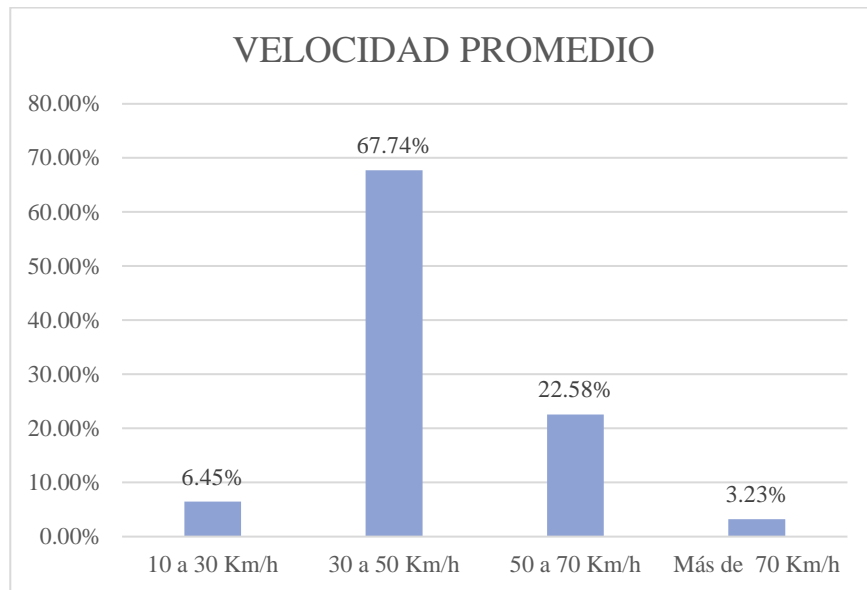
Distancia	Porcentaje	Cantidad
1 a 10 Km	0.00%	0
10 a 30 Km	0.00%	0
30 a 50 Km	0.00%	0
50 a 70 Km	0.00%	0

<b>Distancia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Cantidad</b>
70 a 100 Km	6.45%	2
100 a 150 Km	48.39%	15
Más de 150 Km	45.16%	14
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>	<b>31</b>



¿Cuál es el promedio de velocidad con el que maneja?

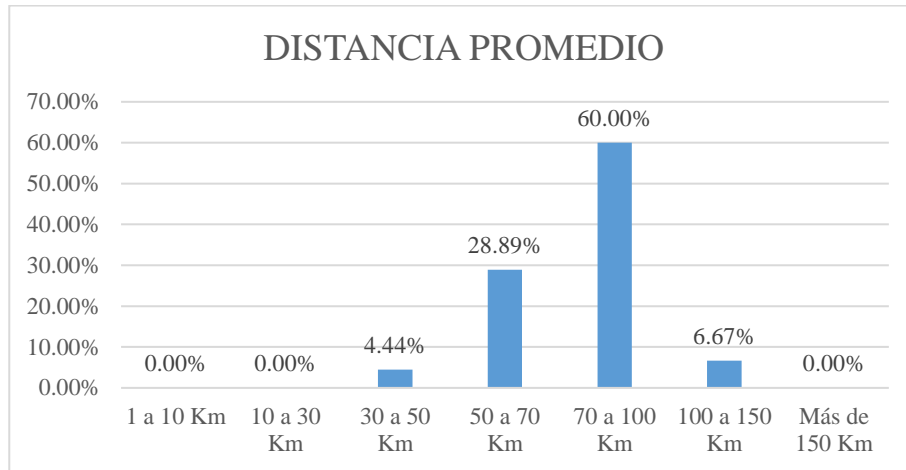
<b>Velocidad</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Cantidad</b>
10 a 30 Km/h	6.45%	2
30 a 50 Km/h	67.74%	21
50 a 70 Km/h	22.58%	7
Más de 70 Km/h	3.23%	1
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>	<b>31</b>



- TAXI

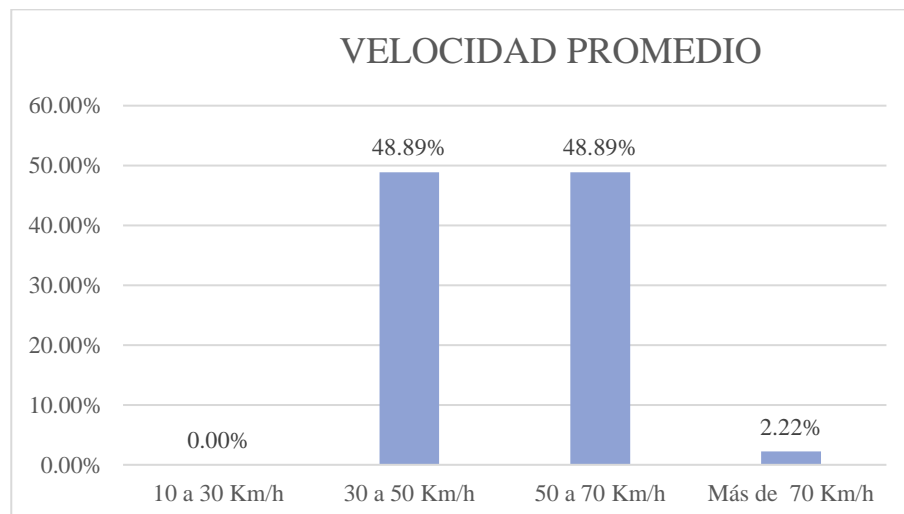
¿Cuál es la distancia en Kilómetros que recorre diariamente en su vehículo?

Distancia	Porcentaje	Cantidad
1 a 10 Km	0.00%	0
10 a 30 Km	0.00%	0
30 a 50 Km	4.44%	2
50 a 70 Km	28.89%	13
70 a 100 Km	60.00%	27
100 a 150 Km	6.67%	3
Más de 150 Km	0.00%	0
Total	100.00%	45



¿Cuál es el promedio de velocidad con el que maneja?

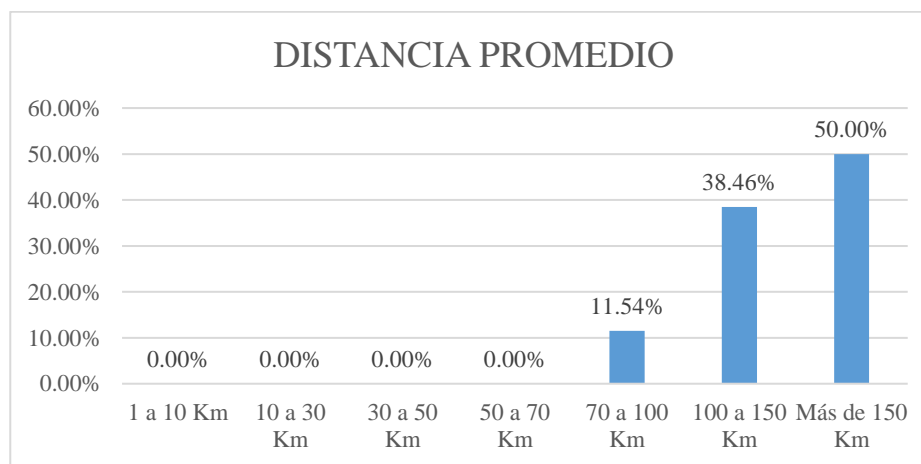
Velocidad	Porcentaje	Cantidad
10 a 30 Km/h	0.00%	0
30 a 50 Km/h	48.89%	22
50 a 70 Km/h	48.89%	22
Más de 70 Km/h	2.22%	1
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>	<b>45</b>



- CAMIÓN

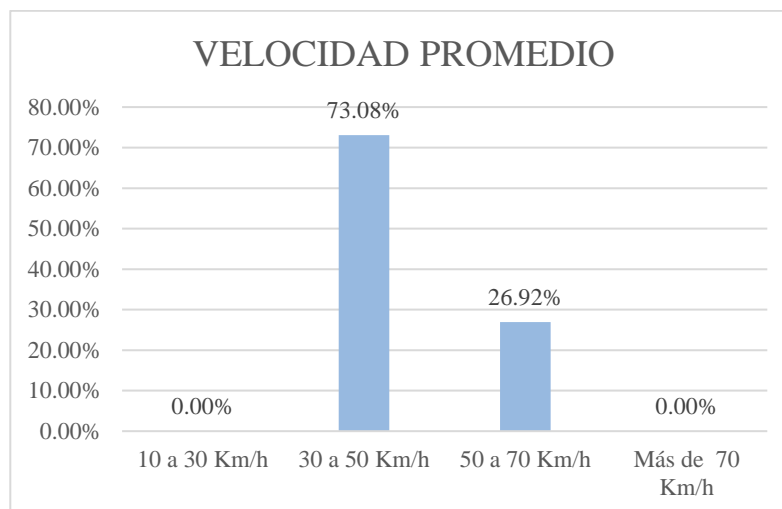
¿Cuál es la distancia en Kilómetros que recorre diariamente en su vehículo?

Distancia	Porcentaje	Cantidad
1 a 10 Km	0.00%	0
10 a 30 Km	0.00%	0
30 a 50 Km	0.00%	0
50 a 70 Km	0.00%	0
70 a 100 Km	11.54%	3
100 a 150 Km	38.46%	10
Más de 150 Km	50.00%	13
Total	100.00%	26



¿Cuál es el promedio de velocidad con el que maneja?

Velocidad	Porcentaje	Cantidad
10 a 30 Km/h	0.00%	0
30 a 50 Km/h	73.08%	19
50 a 70 Km/h	26.92%	7
Más de 70 Km/h	0.00%	0
Total	100.00%	26

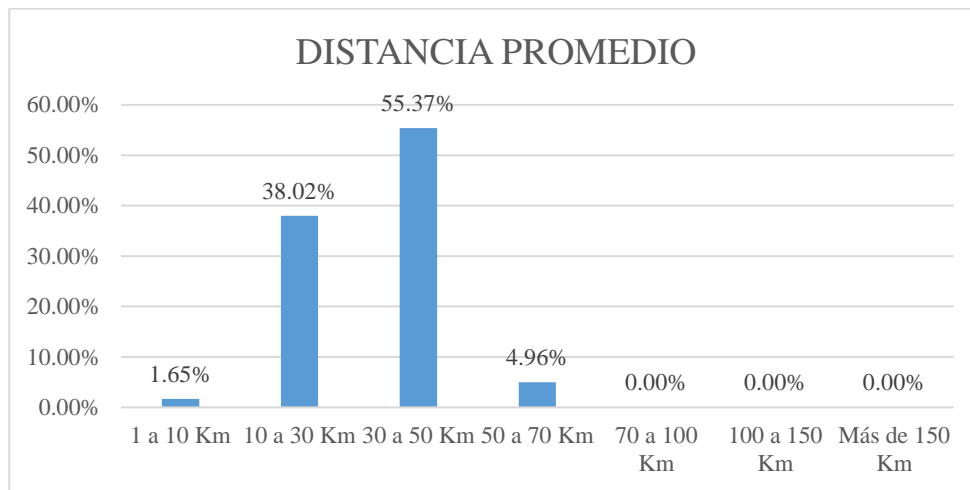


- **MOTOCICLETA**

¿Cuál es la distancia en Kilómetros que recorre diariamente en su vehículo?

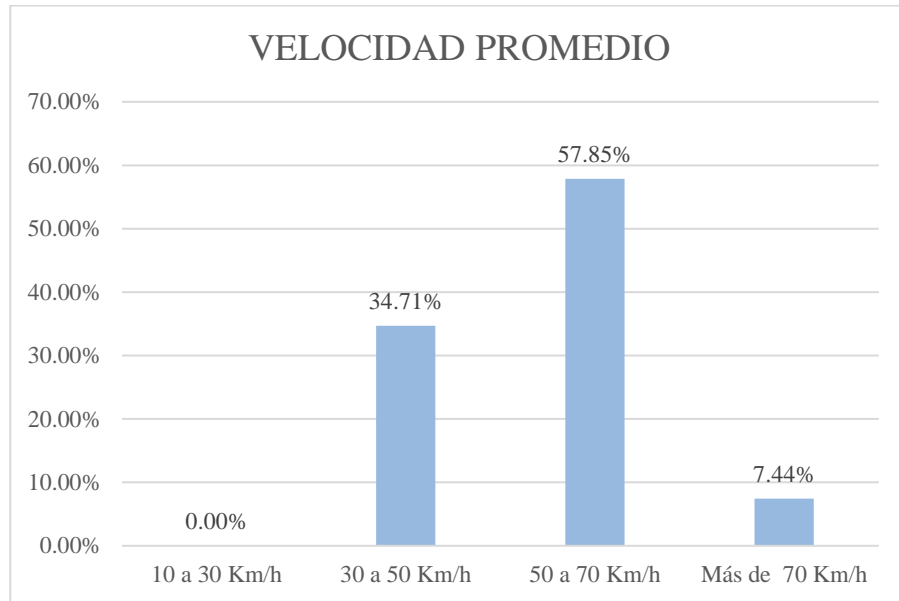
Distancia	Porcentaje	Cantidad
1 a 10 Km	1.65%	2
10 a 30 Km	38.02%	46
30 a 50 Km	55.37%	67

<b>Distancia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Cantidad</b>
50 a 70 Km	4.96%	6
70 a 100 Km	0.00%	0
100 a 150 Km	0.00%	0
Más de 150 Km	0.00%	0
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>	<b>121</b>




¿Cuál es el promedio de velocidad con el que maneja?

<b>Velocidad</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Cantidad</b>
10 a 30 Km/h	0.00%	0
30 a 50 Km/h	34.71%	42
50 a 70 Km/h	57.85%	70
Más de 70 Km/h	7.44%	9
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>	<b>121</b>



**Apéndice I. Aforo vehicular en estación del Colegio Normal Superior Sede C.**

Fecha (D.M.A): 10/07/2020		Estación de Aforo: Colegio Normal Superior Sede C		Esquema							
Condición Climática: Día parcialmente nublado		Movimiento Aforador: 1,2									
Aforador: Juan José Salcedo Santar; Jeff Andrés Olivera Prado		Hoja: _____ de _____									
Coordenador: _____		Hora de Inicio: 10:00 am		Hora Final: 12:00 am							
Inicio	Fin	TAXIS	AUTOS	BUS TRICAM	BUSETA	C-2P	C-2G	C-3-4	C5	2C6	Motos
10:00	10:15	46	85		1	2	1				89
10:15	10:30	42	87		2	2	2				95
10:30	10:45	41	90		2	3	2				92
10:45	11:00	50	95		1	2	1				100
11:00	11:15	52	92		2	3	1				106
11:15	11:30	48	96		2	3	2				91
11:30	11:45	44	88		2	3	1				97
11:45	12:00	49	92		2	2	2				104


### Apéndice J. Aforo vehicular en estación del Instituto Caldas

Fecha (D.M.A): 17/07/2020      Estación de Aforo: Instituto Caldas

Condición Climática: Día parcialmente nublado      Movimiento Aforador: 1,2


Aforador: Juan José Salcedo Santos, Jeff Andrés Olivera Prada      Hoja: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Coordinador: \_\_\_\_\_      Hora de Inicio: 05:00 am      Hora Final: 07:00 am

Esquema 

Inicio	Fin	TAXIS	AUTOS	BUS INTERM	BUSETA	C-2P	C-2G	C-3-4	C5	≥C6	Motos
05:00 p.m.	05:15 p.m.		28	49	10	1					104
05:15 p.m.	05:30 p.m.		31	51	12	1					98
05:30 p.m.	05:45 p.m.		33	60	8	2					110
05:45 p.m.	06:00 p.m.		36	61	10	1					131
06:00 p.m.	06:15 p.m.		27	56	11	1					106
06:15 p.m.	06:30 p.m.		31	62	10	1					112
06:30 p.m.	06:45 p.m.		34	67	9	0					107
06:45 p.m.	07:00 p.m.		38	68	13	0					120




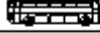






**Apéndice K. Aforo vehicular en estación del Colegio Nuestra Señora del Pilar.**

Fecha (D.M.A): 14/07/2020 Estación de Aforo: Colegio Nuestra Señora del Pilar Esquema 

Condición Climática: Día parcialmente nublado Movimiento Aforador: 1

Aforador: Juan José Salceda Santar; Jeff Andrés Oliveros Prado Hoja \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Coordinador: \_\_\_\_\_ Hora de Inicio: 05:00 am Hora Final: 07:00 am

Inicia	Fin	TAXIS 	AUTOS 	BUS INTERM 	BUSETA 	C-2P 	C-2G 	C-3-4 	CS 	2CS 	Motos 
05:00 p.m.	05:15 p.m.	31	59		10	1					114
05:15 p.m.	05:30 p.m.	29	58		11	1					118
05:30 p.m.	05:45 p.m.	28	54		10	2					105
05:45 p.m.	06:00 p.m.	33	56		10	1					121
06:00 p.m.	06:15 p.m.	34	62		11	0					123
06:15 p.m.	06:30 p.m.	35	63		11	1					104
06:30 p.m.	06:45 p.m.	31	61		10	0					115
06:45 p.m.	07:00 p.m.	32	58		11	0					112