

**PROPUESTA PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN PEAJE URBANO,  
MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN PARA EL ÁREA  
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.**

**DANIEL ÁNDRES GÓMEZ REY  
MELISSA GISETH SANABRIA PINTO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2014**

**PROPUESTA PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN PEAJE URBANO,  
MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN PARA EL ÁREA  
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.**

**DANIEL ÁNDRES GÓMEZ REY  
MELISSA GISETH SANABRIA PINTO**

**Trabajo de grado modalidad investigación para optar el título de  
Ingeniero Civil**

**Director  
HERNÁN PORRAS  
Ph.D, Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2014**



Le agradezco a Dios por ser mi guía espiritual y por brindarme las ayudas que  
necesité en momentos donde no veía cual era el camino a seguir.

Gracias a mi familia porque ellos fueron la base para iniciar un sueño que ya  
culmina.

Gracias Lizeth por ser mi apoyo, por aguantarme y por ser la persona que más  
creyó en mí.

Gracias a mi compañera de proyecto Melissa porque fue un apoyo fundamental  
para terminar nuestro proyecto de grado.

DANIEL ANDRÉS GÓMEZ REY



A Dios

Porque sin él nada de lo que hoy he logrado hubiera sido posible, con su infinita grandeza guio día a día mis pasos para conseguir un sueño que empezó hace cinco (5) años, que hoy se hace realidad.

A mis padres y a mis hermanos

Que con sus consejos, amor, apoyo, cariño y educación que me brindaron durante este proceso tuve la fortaleza y sabiduría para afrontar los buenos y malos momentos que me sirvieron en mi formación intelectual y profesional.

Mis padres que son lo que más amo y admiro hoy por fin pueden sentirse orgullosos de recibir lo que sembraron y cuidaron durante tanto tiempo y que a partir de este momento inicia una nueva etapa de vida para disfrutarla junto a ellos.

A mi amigas

A mi amigas tanto de la vida universitaria (Mayra Zea, Sandra Uribe y Carolina Delgado) como las del colegio (Maria, Lisette, Leidy, Natalia y Erika) por los maravillosos momentos que viví a su lado, los llevaré siempre en mi mente y en una parte de mi corazón; por que como dicen por ahí “recordar es vivir” y por el simple hecho de tenerlos los podré revivir cada vez que de un vistazo a mi pasado.

Demás familiares

Por acompañar a mi familia y darnos todo su apoyo en los momentos difíciles que hemos vivido. Mil gracias por todas las palabras bonitas que siempre salieron de sus corazones.

Y finalmente a mi compañero de proyecto de grado Daniel Gómez

Por compartir junto a mí el último esfuerzo que debía hacer para cumplir mi sueño; porque con su tranquilidad y positivismo generaron un equilibrio en nuestro trabajo, además junto a sus buenas ideas pudimos construir este proyecto de grado, que puede que muchos no piensen que es el mejor, pero para mí ha sido un gran aporte para la escuela y para los problemas de movilidad que atraviesa hoy en día nuestra ciudad y el país en general.

MELISSA GISETH SANABRIA PINTO



## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	16
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	16
<b>1.1. OBJETIVOS</b> .....	17
<b>1.1.1. OBJETIVO GENERAL:</b> .....	17
<b>1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b> .....	17
<b>2. EXPERIENCIAS INTERNACIONALES DE SISTEMAS DE PEAJES URBANOS</b>	18
<b>2.1. Finalidad de un peaje urbano</b> .....	18
<b>2.2. Tipos de peajes urbanos</b> .....	18
<b>2.2.1. Cobro por infraestructura</b> .....	19
<b>2.2.2. Tarifación por redes o zonas de peajes</b> .....	20
<b>2.3. Síntesis histórica de sistemas de tarifación</b> .....	20
<b>2.3.1. Singapur (Asia)</b> .....	21
<b>2.3.2. Estocolmo (Suecia)</b> .....	21
<b>2.3.3. Londres (Reino Unido)</b> .....	22
<b>2.3.4. Orange County (California)</b> .....	23
<b>2.4. Sistemas de tarifación nacional</b> .....	23
<b>2.4.1. Medellín</b> .....	23
<b>2.4.2. Cartagena</b> .....	24
<b>2.5. Resultados de los peajes urbanos</b> .....	24
<b>3. ANTECEDENTES SOCIOECONÓMICOS DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> .....	25
<b>4. SITUACIÓN ACTUAL Y ESTRATEGIAS IMPLEMENTADAS COMO SOLUCIÓN DE MOVILIDAD DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA</b> .....	27
<b>5. MODELO DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO</b> .....	31
<b>5.1. Elaboración de la red</b> .....	31
<b>5.2. Zonas de asignación de tráfico</b> .....	32
<b>5.3. Matriz origen - destino</b> .....	32
<b>5.4. Función de desempeño de los corredores y asignación de tráfico</b> .....	32
<b>6. ESCENARIOS DE SIMULACIÓN DE TRÁFICO</b> .....	35
<b>7. CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA LOS CERROS</b> .....	37
<b>8. RESULTADOS</b> .....	39
<b>9. CONCLUSIONES</b> .....	41



<b>10. RECOMENDACIONES</b> .....	43
<b>CITAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	44
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	45



## LISTA DE FIGURAS

<b>Ilustración 1:</b> Ejemplo de carril tarifado .....	19
<b>Ilustración 2:</b> Crecimiento poblacional del Área Metropolitana de Bucaramanga.....	26
<b>Ilustración 3:</b> Crecimiento del parqueautomotor del Área Metropolitana de Bucaramanga.....	28
<b>Ilustración 4:</b> Distribución del parque automotor del Área Metropolitana de Bucaramanga.....	28
<b>Ilustración 5:</b> Distribución de los vehículos particulares del Área Metropolitana de Bucaramanga.....	29
<b>Ilustración 6:</b> Malla vial del Área Metropolitana de Bucaramanga con la transversal los Cerros. ....	39



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Distribución de viajes por municipio del Área Metropolitana de Bucaramanga.....	27
<b>Tabla 2:</b> Valores alfa y beta.....	33
<b>Tabla 3:</b> Proyectos metropolitanos a corto plazo de mayor trascendencia en la movilidad del área metropolitana de Bucaramanga. ....	35
<b>Tabla 4:</b> Escenarios de simulación de tráfico. ....	36
<b>Tabla 5:</b> Características vía los Cerros. ....	37
<b>Tabla 6:</b> Indicadores agregados de tráfico. ....	40
<b>Tabla 7:</b> Indicadores de operación. ....	40



## LISTA DE ANEXOS

Estos anexos se encuentran en un documento adjunto

**ANEXO A.** SINGAPUR: PRECIO ELECTRÓNICO DE LA VÍA (ELECTRONIC ROAD PRICING)

**ANEXO B.** PEAJE URBANO DE ESTOCOLMO

**ANEXO C.** LONDRES COBRO POR CONGESTIÓN (CONGESTION CHARGING)

**ANEXO D.** CALIFORNIA PROYECTO 91 – AVANCE RÁPIDO (FAST FORWARD)

**ANEXO E.** DETALLES DE LA TRANSVERSAL LOS CERROS

**ANEXO F.** RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL FLUJO VEHICULAR DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA CON SUS RESPECTIVAS PROYECCIONES HASTA EL AÑO 2030.

## RESUMEN

**TITULO:** PROPUESTA PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN PEAJE URBANO, MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN, PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.<sup>1</sup>

**AUTORES:** DANIEL ANDRÉS GÓMEZ REY<sup>2</sup>  
MELISSA GISETH SANABRIA PINTO

**PALABRAS CLAVE:** Movilidad, congestión, peaje urbano, anillo de peaje, infraestructura vial, carriles exclusivos, asignación de tráfico, modelos de asignación.

## DESCRIPCIÓN:

Con el paso de los años en Bucaramanga y su área metropolitana los vehículos particulares han sido el sistema de transporte más cómodo para viajar, por motivos como seguridad, privacidad y velocidad y cada vez es más fácil acceder a este tipo de vehículos, en la mayoría de los casos por préstamos con bajas cuotas de interés o simplemente porque no exigen cuota inicial a la hora de su compra. El problema radica en que cada día hay más de ellos rodando por las calles causando cada vez más congestión vehicular. Las vías arteriales de la ciudad reflejan niveles de congestión muy altos y las alternativas ya impuestas para disminuir este problema como lo son el pico y placa y el sistema integrado de transporte metrolínea no han reflejado los resultados esperados. El presente trabajo trata de mostrar la situación actual de movilidad vehicular en la ciudad y a mediano plazo una alternativa ya pensada en otros países como Estados Unidos o Suecia para mejorar la movilidad urbana de Bucaramanga y su área metropolitana por medio de un sistema de peaje urbano que reflejara disminuciones en los índices de congestión en vías principales de las ciudades donde ya está en funcionamiento este tipo de proyecto.

---

<sup>1</sup> Trabajo de grado

<sup>2</sup> Facultad de Ingenierías Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Hernán Porras Díaz, Ph.D, Ingeniero Civil.

## ABSTRACT

**TITLE:** PROPOSAL FOR THE IMPLEMENTATION OF A URBAN TOLL USING SIMULATION FOR METROPOLITAN AREA OF BUCARAMANGA.<sup>3</sup>

**AUTHORS:** DANIEL ANDRÉS GÓMEZ REY<sup>4</sup>  
MELISSA GISETHSANABRIA PINTO

**KEY WORDS:** mobility, congestion, congestion charge ring toll road infrastructure, lanes, traffic assignment.

### DESCRIPTION:

Over the years in Bucaramanga and its metropolitan area private cars have been the most convenient transportation system to travel, for reasons such as security, privacy and speed and it is becoming easier to access these types of vehicles, in most cases by loans with low rates of interest or simply because they require at the time of initial purchase fee. The problem is that every day there are more of them rolling down the streets causing more and more congestion. The arterial roads of the city reflect very high levels of congestion and alternatives already imposed to reduce this problem as are the peak and plate and integrated transport system Metrolínea have not reflected the expected results. This paper tries to show the current status of vehicular mobility in the city and in the medium term alternative and designed in other countries like the United States or Sweden to improve urban mobility in Bucaramanga and its metropolitan area through a system of urban toll to reflect decreases in rates of congestion on major thoroughfares of the cities where it is already running project type.

---

<sup>3</sup>BachelorThesis

<sup>4</sup>Faculty of MechanicalEngineeringPhysics. School of Civil Engineering. Chief: Hernán Porras Díaz, Ph.D, Civil Engineer.

## INTRODUCCIÓN

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La congestión es una de las externalidades negativas que afectan diferentes ciudades en el mundo, la cual se genera cuando un vehículo ingresa a una vía que se encuentra ya saturada debido al exceso de demanda (vehículos) en una oferta limitada (vías) disminuyendo la distribución normal del transporte aumentando así los tiempos de viajes de los usuarios.

Los países desarrollados optaron por medidas de restricción del uso del vehículo particular, entre ellas se encuentra el cobro por congestión de infraestructura conocido como Peaje Urbano.

El siguiente artículo en su sección dos está enfocado en mostrar la finalidad, los tipos de peaje urbano, cuál es el tipo de cobro, como fueron los inicios de los sistemas de tarificación y los principales peajes urbanos que están en algunas ciudades alrededor del mundo con sus resultados en su mayoría beneficios. En la sección tres se muestra la situación socioeconómica de Bucaramanga y su área metropolitana, al igual que el crecimiento poblacional que ha tenido la ciudad. En la sección cuatro se muestran las estrategias como solución de movilidad que se han presentado para disminuir la congestión vehicular en la ciudad. Luego en la sección cinco está la aparición del modelo de asignación de tráfico, junto con la elaboración de la red, las zonas de asignación de tráfico, y la matriz que se utilizó para crear los escenarios de simulación como lo son la red vial actual, la red vial con la vía Lo cerros y la red vial con la vía Los Cerros y el peaje urbano en funcionamiento, lo cual está en la sección seis. A continuación en la sección siete están las características de la vía Los Cerros junto con la señalización respectiva que tendrá el corredor vial. Para terminar en la sección ocho y nueve se encuentran los resultados obtenidos una vez se corrió el modelo estableciendo indicadores de tráfico y algunas conclusiones y recomendaciones del análisis de viabilidad a tener en cuenta para grupos de investigación que sigan adelante con este estudio.



## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. OBJETIVO GENERAL:**

Establecer una propuesta de implementación de un peaje urbano en un nuevo proyecto de infraestructura vial en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Recopilar la información de sistemas de peajes urbanos ya implantados, tomando como referencia las experiencias internacionales de Londres, California, Estocolmo y Singapur.
- Examinar la problemática vehicular presentada en el Área Metropolitana de Bucaramanga.
- Identificar el tramo vial que sirva de propuesta para la implantación de un peaje urbano.
- Analizar el impacto generado en la movilidad al entrar en operación el peaje urbano.

## 2. EXPERIENCIAS INTERNACIONALES DE SISTEMAS DE PEAJES URBANOS

El concepto de peajes urbanos, se puede definir como cobro por congestión a los vehículos particulares por uso de infraestructura vial. Esta medida de gestión de movilidad sostenible, surge ante la necesidad de crear políticas de transporte para solucionar la demanda de crecimiento por parte del parque automotor de las grandes ciudades, siendo su recaudo la fuente de financiación, mantenimiento y construcción de proyectos de infraestructura vial.

### 2.1. Finalidad de un peaje urbano

Las razones por las cuales se elige el cobro por congestión varían según las necesidades que desee alcanzar cada ciudad. Entre estas se encuentran:

- Disminuir los niveles de contaminación de ciertas zonas de la ciudad, mejorando la calidad de vida de los residentes.
- Financiar obras de infraestructura vial, aumentando así la oferta viaria.
- Mejorar los servicios de transporte alternativos al vehículo privado, tales como: autos compartidos, ciclo rutas y transporte público.
- Aumentar la velocidad de circulación.
- Disminuir los tiempos de viaje que emplean los ciudadanos para llegar a sus destinos.
- Reducir la congestión circulatoria en algunas zonas o vías de la ciudad.
- Mitigar, desincentivar y mantener un número moderado de vehículos privados al interior de la ciudad.

### 2.2. Tipos de peajes urbanos

Actualmente se conocen diferentes alternativas de cobro por congestión vehicular. Obedeciendo a los objetivos que se quieran alcanzar, se empieza a analizar el tipo o esquema de tarifación que se adecue a las características que posea la ciudad en estudio, enfocándose principalmente en las restricciones reales de la malla vial, distribución de viajes, niveles de congestión, economía, desarrollo tecnológico, medio ambiente, número de habitantes y condiciones

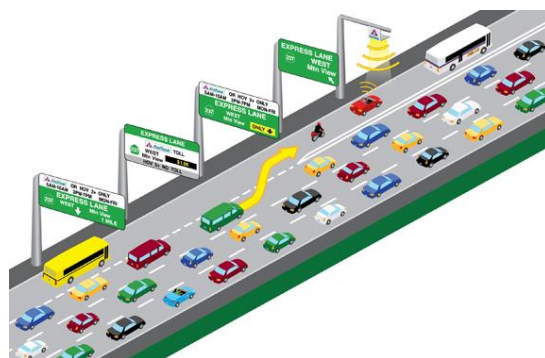
topográficas de la ciudad; esto con el fin de lograr estudios detallados de factibilidad.

Como se ha mencionado con anterioridad existen muchos tipos o esquemas de tarificación pero en los que se va a enfocar este artículo son los siguientes:

### 2.2.1. Cobro por infraestructura

Hace referencia a carriles de uso exclusivo de vehículos privados, con grandes extensiones como autopistas, con el fin de mejorar los tiempos de viaje de los usuarios e incentivar el uso de automóvil compartido. Existen dos esquemas: uno de ellos son los conocidos carriles de alta ocupación (HOV) y los otros son vías rápidas; la diferencia radica en que el primero corresponde a uso exclusivo de vehículos con más de dos pasajeros, pagando una tarifa menor a medida que tenga su cupo lleno, por otra parte, el segundo no tiene restricción por el número de pasajeros. Sin embargo, la tarifa de peaje disminuye, si aumenta el número de pasajeros, siempre y cuando el nivel de tráfico de circulación garantice una velocidad media mayor a 100 km/h.

Su sistema de cobro es automático, por tal motivo, los vehículos que deseen transitar deben tener un medio electrónico incorporado; los más utilizados son: transponder, IVU por sus siglas en inglés y tag, los cuales son sistemas de identificación electrónica, evadiendo la instalación de casetas de cobro a la entrada de cada una de las vías de acceso al carril tarifario. “Figura 1”.



**Ilustración 1:** Ejemplo de carril tarifado

**Fuente:** Cometario sobre los eventos de transporte de la coalición del tránsito del proyecto un mejor reino interior, septiembre 13, 2.013.

### 2.2.2. Tarificación por redes o zonas de peajes

Este sistema de cobro es empleado en gran medida para disminuir la congestión vehicular en los centros urbanos de las ciudades. La extensión del área depende de las características de la ciudad y de cómo sea el desarrollo de este, ya que la zona de peaje puede aumentar si se ven afectados sus alrededores. Su tarifa puede ser fija o variable dependiendo de la hora del día, normalmente su tasa llega a su mayor costo en horas de mayor flujo vehicular, por otra parte, el sistema de cobro es automático buscando evitar filas y pérdidas de tiempo al ingresar al área de restricción, sin embargo, existen ciudades que aún usan casetas de cobro.

### 2.3. Síntesis histórica de sistemas de tarificación

La idea de establecer un peaje urbano o URP por sus siglas en inglés, nace en la década de los 60'S por W. Vrickey, A.A. Walters, el Ministerio de transporte y expertos del Reino Unido, basándose en los principios del economista Arthur Pigou en 1.920 cuando desarrollo el concepto de externalidad, sosteniendo que la existencia de las externalidades era justificable por el simple hecho de que si alguien creaba una externalidad negativa se dedicarían recursos para la actividad que la generaba, para ser aplicados al campo del transporte con el fin de mejorar y financiar proyectos viales. [1]

Londres fue el primer lugar donde se consideró aplicar este concepto con el llamado InformSmed, de 1.964, sobre los "peajes urbanos: posibilidades técnicas y económicas" (ministerio de transporte, 1.964), en 1.974 se realizó un estudio de licencias complementarias que se basaba en un anillo de peaje y los beneficios que traería poner en marcha esta medida eran: reducir el tránsito vehicular en un 45 %, aumentar la velocidad media de circulación en un 40 % y generar ingresos de 15 %.

Sin embargo, el primer peaje urbano fue puesto en marcha en la ciudad de Singapur alrededor del año 1.975 con la implementación del sistema de licencias de zona con el fin de reducir la demanda de vehículos que ingresaban al centro de la ciudad, iniciando con una zona de restricción de 7,5 km<sup>2</sup> en un intervalo de tiempo desde las 7: 30 a.m. a 6:30 p.m.

A continuación se muestra un resumen con las características de operación de los peajes urbanos internacionales en estudio:

### 2.3.1. Singapur (Asia)

La idea de peaje urbano se inaugura en Singapur en el año 1.975 y se hace con la iniciativa del proyecto de área controlada (*Área LicensingScheme*), que consiste en cerrar una zona de la ciudad para ser tarifada. El peaje tiene un área de 7,2 km<sup>2</sup> con alrededor de 28 puntos de control y una inversión de 98 millones de euros.

Los volúmenes de tráfico en la zona entre las 7:30 y 9:30 a.m. estaban por el orden de los 32.500 vehículos en junio de 1.975, por ello, los tiempos de viaje eran considerables para una superficie tan limitada como lo es Singapur. El objetivo principal para la implementación del peaje era reducir los niveles de congestión del centro de la ciudad y a su vez mejorar el flujo de circulación. Su cobro consiste en un sistema de reconocimiento automático llamado Precios Electrónicos de Carretera, ERP; con el cual los vehículos que quisieran transitar por la zona de peaje deberían instalar un transponder en sus automóviles, pudiendo realizar su pago en el momento que pasaran por el peaje [2].

Por otro lado el periodo de operación del peaje comprende entre las 7:30 a.m. y las 6:30 p.m., en jornada laboral y los sábados de 7:30 a.m. a 2:00 p.m. con una tarifa variable dependiendo de la hora y lugar de ingreso, el cobro es impuesto cada vez que se ingresa a la zona de tarificación y su valor es de 1,5 Euros,

Finalmente los resultados obtenidos después de la implementación del sistema de peaje fueron positivos trayendo mejoras en su circulación, reduciendo el tráfico afluente un 73 %, aumento en la velocidad de 19 a 36 km/h y alza promedio del transporte público un 48 %. [Ver anexo 1].

### 2.3.2. Estocolmo (Suecia)

El peaje urbano de Estocolmo es un sistema de tarificación basado en el concepto económico de tarifas de congestión, es decir, el cargo que paga cada

vehículo es equivalente a un impuesto que se cobra a cada automotor que entra y sale del centro de la ciudad de Estocolmo. El cobro del peaje comenzó a regir desde el 1 de agosto de 2.007, luego de un periodo de prueba realizado durante los primeros 6 meses del año anterior a la implantación del impuesto [3].

El objetivo principal del peaje es reducir la congestión de tránsito y disminuir la contaminación ambiental del centro de Estocolmo. Todo dinero que sea recaudado por el pago del impuesto es utilizado para la creación de nuevas vías cercanas a la ciudad.

El costo del peaje varía dependiendo de la hora del día en que el usuario entra o sale del área tarifada, no se cobra los sábados, domingos, feriados, día anterior al feriado, ni tampoco durante la noche (18:30 – 06:29), y todo el mes de julio es exento. El valor máximo que puede llegar a pagar un vehículo por día es de 6,52 EUR.

Los beneficios que trajo este sistema a la ciudad fue un descenso del flujo de tráfico entre 20 y 25 % generando así mejoras en los niveles de servicio de las vías del centro de la ciudad; a su vez se incorporaron 16 nuevas líneas de autobuses. [Ver anexo 2].

### **2.3.3. Londres (Reino Unido)**

El 10 de julio del 2.001 fue publicada su estrategia en materia de transportes (Transporte en Londres, 2.001) e implementada en el 2.003 con tres objetivos principales: reducir la congestión, mejorar el sistema de transporte público y la distribución de mercancías y servicios. Su mecanismo constituye un anillo de peaje con una extensión de 22 km<sup>2</sup> y 230 puntos de control incluyendo cámaras y vehículos en movimiento en la zona; su periodo de operación es solo en jornadas laborales entre las 6:30 a.m. y las 6:30 p.m., con una tarifa fija diaria de 11,7 Euros [4].

Londres ha tenido excelentes resultados en cuanto a la reducción de la congestión en la zona centro, con porcentajes entre 27 y 31 % generando un aumento en la velocidad media de circulación del orden de 30 % (automóviles) y 40 % (transporte público) [5], por lo tanto estos porcentajes muestran beneficios en los tiempos que invierten los usuarios para llegar a sus destinos, reduciéndolos en un 16 %; por otra parte, la calidad en el medio ambiente también se ve beneficiada, [ver anexo 3].

#### **2.3.4. Orange County (California)**

El peaje urbano del condado de Orange es diferente al de Singapur y Londres por no ser un anillo de peaje sino un cordón tarifado ubicado en la autopista 91 que comunica el condado de Orange y Riverside, empleando una longitud de diez millas, la autopista está constituida en cuatro carriles sin peaje y dos carriles rápidos con peaje.

El principal objetivo al implementar el peaje, es mejorar los tiempos de viaje de los usuarios e incentivar al uso de autos compartidos; por tal motivo el sistema de peaje de este carril es de alta ocupación de peaje, HOV [6], donde los vehículos con más de dos pasajeros obtienen un descuento en su costo; la tarifa varía según el número de pasajeros y del nivel de congestión que ocasiona a la vía el vehículo que ingresa con el fin de asegurar una velocidad de circulación entre los 70 y 120 kilómetros por hora. Además su sistema de cobro es automático empleando un dispositivo, facilitando así la entrada y salida de los automóviles a lo largo del carril de peaje, [ver anexo 4].

### **2.4. Sistemas de tarificación nacional**

#### **2.4.1. Medellín**

Esta ciudad ha querido abordar la medida de peajes urbanos debido a que su parque automotor aumento en un 35% pasando de 767.548 vehículos en el año 2.008 a 1.181.817 en el año 2.013, según la secretaria de movilidad de Medellín, viéndose afectado el tráfico vehicular y los tiempos de viaje de las personas.

Sin embargo, por el momento no se implementará este sistema, ya que no cuenta con estudios suficientes que permitan la adopción de la medida, debido a que los estudios hechos no hicieron suficiente hincapié en varios elementos que se necesitarían para darle vía libre a una medida de tanta trascendencia.

## 2.4.2. Cartagena

La capital de Bolívar es pionera en la instauración de peajes urbanos en Colombia, ya que la ciudad cuenta con dos ellos en la zona industrial de Mamonal.

Esta obra se da para poder financiar el corredor de carga, o corredor de acceso rápido a la variante de Cartagena, el cual conecta los muelles de las industrias de Mamonal con vías nacionales y sectores residenciales de la ciudad. Tiene una longitud de 22 kilómetros de los cuales 10 son en doble calzada y 12 en una calzada bidireccional.

## 2.5. Resultados de los peajes urbanos

Aunque los peajes urbanos son una medida de rechazo popular, después de un tiempo estos niveles se van disminuyendo a medida que las personas van percibiendo el cambio en sus viajes y las mejoras que la misma ha traído en tiempos de viaje, reducción de congestión, mejoramiento en los sistemas de transporte público (autobús, ferrocarril, metro, tranvía, entre otros), en el medio ambiente, y la inversión en proyectos viales. Por otra parte este sistema ha generado cambios en los horarios de algunos ciudadanos, evitando así pagar el peaje, disminuyendo aún más el flujo de circulación en horas de mayor flujo vehicular, [ver anexos 1, 2, 3 y 4].



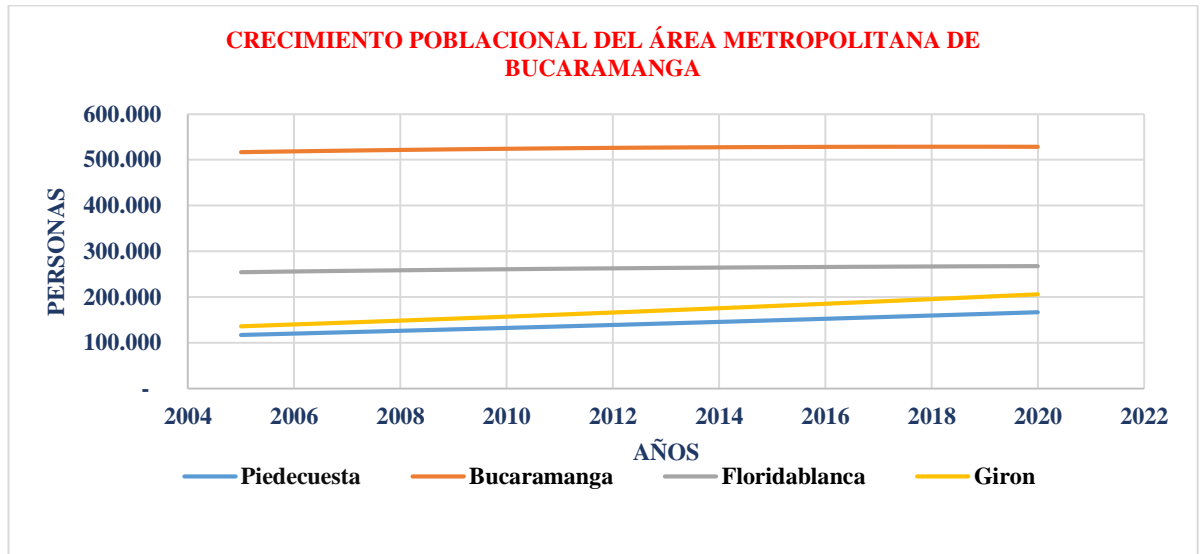
### **3. ANTECEDENTES SOCIOECONÓMICOS DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

La capital del departamento de Santander, Bucaramanga, ubicada al nordeste del país sobre la cordillera oriental, a orillas del río de oro, cuenta con 527.451 habitantes (Proyección DANE, 2.014). Tiene una longitud de 7 km de sur a norte y 6 km de oriente a occidente. La ciudad está localizada en una meseta a 959 msnm, tiene un área de 165 km<sup>2</sup> y una economía con alto reconocimiento nacional en la industria del calzado.

El desarrollo económico en Santander se debe a su aporte al crecimiento del Producto Interno Bruto, PIB, en cuanto a su participación en exportaciones con un 1,9 % y a su Índice de Precios Vivienda Nueva, IPVN, del 12,5 % en Bucaramanga; este crecimiento se debe a la actividad que se presenta en la región comprendida por Bucaramanga, Barrancabermeja, Floridablanca, Girón y Piedecuesta.

La actividad mencionada anteriormente se centra en la ciudad de Bucaramanga observándose un índice de crecimiento poblacional aproximadamente del 2,08 % con respecto al censo publicado en el 2.005 por parte del Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, a la fecha del año 2.014, "Figura 2".

Este crecimiento trae consigo un proceso de expansión urbana y de incorporación de todas las zonas que se consideraran en desarrollo incompleto generando una reclasificación del suelo del municipio para suplir la demanda poblacional que requiere la ciudad. Sin embargo, las limitaciones topográficas que posee el municipio originan un aumento poblacional es por ello que se irrumpe en los municipios aledaños.



**Ilustración 2:** Crecimiento poblacional del Área Metropolitana de Bucaramanga.

**Fuente:** Datos DANE con proyecciones al año 2.020.

#### 4. SITUACIÓN ACTUAL Y ESTRATEGIAS IMPLEMENTADAS COMO SOLUCIÓN DE MOVILIDAD DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

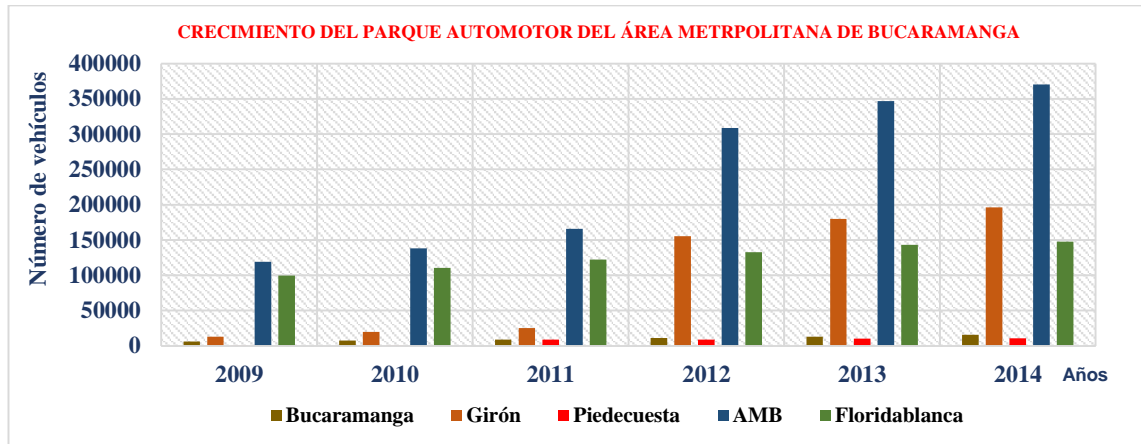
La movilidad se refleja por la demanda de tráfico que accede a la ciudad, desde municipios cercanos a Bucaramanga con un 60 % de viajes diarios generados en el área metropolitana, “Tabla 1”, ocasionando al igual que en otros lugares del país una alta circulación de vehículos por las vías principales de acceso a la ciudad hasta el punto de generar congestión, daños en la infraestructura vial y contaminación debido a las altas emisiones de NOX, PM y CO<sub>2</sub>. Esto ocasionó la implementación de un Sistema Integrado de Transporte Masivo, SITM, por ser considerado un medio de transporte eficiente, seguro, oportuno y económico; por acoger el mayor número de pasajeros, disminuir el nivel de accidentalidad y además externalidades negativas ocasionadas por el transporte público convencional.

En un principio este sistema disminuyó la congestión que generaba la cantidad de vehículos de transporte público convencional, sin embargo, el problema continuó y aumentó con el transcurso de los años, a raíz de: un crecimiento desmesurado del parque automotor, “Figura 2”, la mala planeación de los proyectos de edificación ya que las vías no fueron diseñadas para cubrir la demanda vehicular, la competencia con el transporte público convencional (66 % STM y 34 % T.P.C.) y finalmente por la asignación de carriles exclusivos para los buses del SITM, disminuyendo significativamente el área de circulación de los vehículos particulares. También cabe resaltar que el nivel de servicio que presta Metrolínea no es óptimo puesto que no hay rutas suficientes, ni buses con la capacidad para suplir el número de usuarios que acoge el sistema, lo que ha generado una disminución de 2,2 % en el número de pasajeros con respecto a las cifras reportadas por el DANE en el año 2.012.

**Tabla 1:** Distribución de viajes por municipio del Área Metropolitana de Bucaramanga.

Destino	Origen			
	<i>B/manga</i>	<i>F/blanca</i>	<i>Girón</i>	<i>P/cuesta</i>
<b>B/manga</b>	63,76%	8,40%	4,57%	2,36%
<b>F/blanca</b>	8,35%	1,22%	0,13%	1,54%
<b>Girón</b>	6,24%	0,32%	1,19%	0,04%
<b>P/cuesta</b>	1,33%	0,29%	0,07%	0,18%

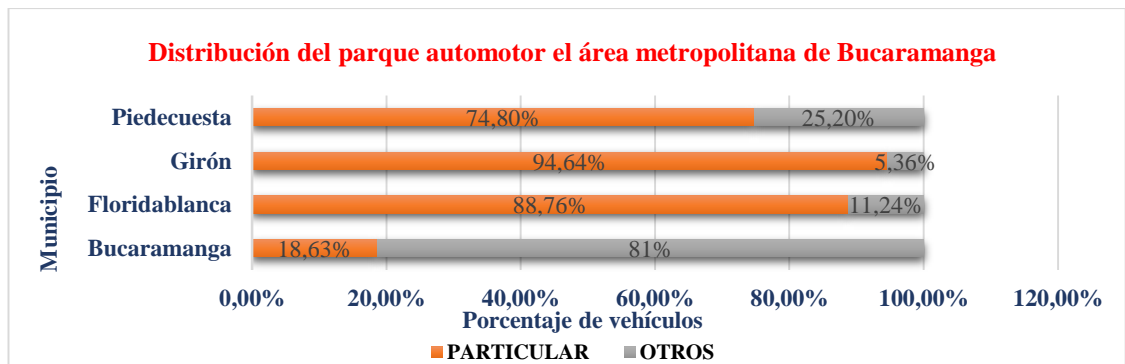
**Fuente:** Plan maestro de movilidad Área Metropolitana de Bucaramanga 2.011-2.030.



**Ilustración 3:** Crecimiento del parque automotor del Área Metropolitana de Bucaramanga.

**Fuente:** Datos de la dirección de tránsito y transporte de Bucaramanga y Floridablanca y la secretaria de tránsito de Girón y Piedecuesta.

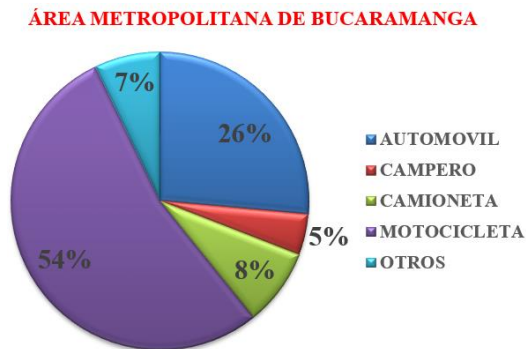
Como se muestra en la figura anterior el crecimiento automotor en el Área Metropolitana de Bucaramanga ha venido en alza de una manera superlativa, incrementando en un 60 % el número total de vehículos que transitan en la región desde el 2.010 hasta el 2.013 distribuyéndose tal como se muestra en la “Figura 3”.



**Ilustración 4:** Distribución del parque automotor del Área Metropolitana de Bucaramanga.

**Fuente:** Datos de la dirección de tránsito y transporte de Bucaramanga y Floridablanca y la secretaria de tránsito de Girón y Piedecuesta.

Viéndose reflejado que el vehículo que mayor acogida tiene es la motocicleta, con un 55 %, seguido del automóvil con un 26 %, "Figura 4". Habiendo mayor adquisición en los municipios de Girón y Floridablanca, por el rápido trámite a la hora de expedir una licencia y los bajos costos de impuestos municipales.



**Ilustración 5:** Distribución de los vehículos particulares del Área Metropolitana de Bucaramanga.

**Fuente:** Datos de la dirección de tránsito y transporte de Bucaramanga y Floridablanca y la secretaria de tránsito de Girón y Piedecuesta.

Por esta razón se dio inicio a ejecutar una medida de restricción de circulación vehicular obligatoria en el área urbana conocida como "pico y placa", cuyo objetivo es restringir la circulación de motorización, un día en la semana, mitigando el uso de una escasa oferta de transporte (vías) ante una demanda excesiva (vehículos). Esta medida fue implementada en un horario comprendido de 6:00 a.m. a 8:00 p.m. para automóviles, de 6:00 a.m. a 9:00 a.m. y 5:00 p.m. a 8:00 p.m. para motocicletas; el área de restricción abarca el centro de la ciudad y vías arterias de la ciudad como la carrera 27, carrera 15, carrera 33 y la Rosita.

Se ha logrado estimar que el pico y placa disminuye en un 20 % la circulación vial, siempre y cuando, exista el mismo número de vehículos para cada dígito final de matrícula, sin embargo, algunos usuarios optaron por adquirir otro vehículo para evitar esta medida, aumentando así el parque automotor.

Se puede observar que a pesar de las medidas ejecutadas para dar una solución al problema de movilidad que se vive actualmente en Bucaramanga, la demanda supera la oferta de transporte proporcionada por la ciudad. De continuar así, en un futuro muy cercano se generarían altos niveles de



congestión por las vías mayor tráfico de la ciudad superando la capacidad máxima vial en “horas pico”; por lo tanto, esta situación conlleva a que el ministerio de transporte busque estrategias de movilidad para el mejoramiento de la circulación en el área metropolitana.

La propuesta que tiene mayor viabilidad ajustándose a las necesidades de la ciudad, es la implementación de un sistema de cobro por congestión conocido como peaje urbano, éste sistema ha logrado buenos resultados internacionalmente, especialmente en las ciudades del Reino Unido y Noruega; ya que las medidas implementadas hasta el momento sólo han conseguido un éxito limitado.

## 5. MODELO DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO

Los modelos de asignación de tráfico son representaciones matemáticas del comportamiento de un individuo una vez toma la decisión de realizar un viaje con un origen y destino específico teniendo en cuenta para la elección de su ruta: la ruta más corta y los costos de viaje; generando así un modelo de equilibrio entre la demanda y oferta de transporte dividido en cuatro etapas: generación de viajes, distribución, partición modal y asignación, además son trascendentales en el proceso de planeación en la construcción, ampliación y modernización de vías.

En el presente estudio se emplearán estos modelos de asignación para realizar la simulación de la situación del tráfico actual en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana, dándole argumentos de peso a la idea de implementar un sistema de peaje urbano en la ciudad como una estrategia de movilidad sostenible para así mejorar el flujo vehicular de la misma. El software que se empleará será TransCad, ya que combina sistemas de información geográfica (SIG) y modelos de demanda y funcionalidad de transporte en una plataforma integrada, empleando parámetros de transporte complejos como: redes de transporte, matrices de viaje, datos lineales – referenciados y sistemas de rutas que tiene en cuenta los datos de infraestructura, flujo vehicular, penalizaciones de circulación, entre otros; haciendo un estudio más real y eficiente para los análisis de gestión y planeación de alternativas de solución a corto y largo plazo. Además es con el que cuenta la universidad, y que posee entre su paquete de herramientas, las necesarias para evaluar los parámetros esenciales de tráfico y establecer un mecanismo de cobro por uso de infraestructura en un tramo específico, permitiendo estimar la distribución del flujo vehicular en la red vial del Área Metropolitana de Bucaramanga.

### 5.1. Elaboración de la red

La red que se utilizó fue elaborada por el grupo de investigación Geomática, de la Universidad Industrial de Santander, la cual cuenta con una tabla de atributos que indica la constitución de la vía, el tipo de pavimento, el ancho de calzada, el sentido de la vía, el municipio al cual pertenece, la capacidad, la pendiente y un número de identificación para cada corredor vial, entre otros.

## 5.2. Zonas de asignación de tráfico

Para realizar un modelo de asignación de tráfico se requiere fraccionar el Área Metropolitana de Bucaramanga en diferentes zonas de características similares, suponiendo que las actividades de las mismas se encuentran en su centroide, que esta zona sea compatible con las otras divisiones administrativas y que el volumen de movilización de los usuarios sea considerable; la zonificación hace que el estudio sea detallado y sencillo, sin embargo, las zonas no deben ser muy pequeñas porque dificultarían la obtención de la información de los viajes y de igual manera haría que el análisis de los resultados que se obtendrían fueran complejos. Para este estudio nos basamos en las 129 zonas ya establecidas por el DANE del área metropolitana de la ciudad.

## 5.3. Matriz origen - destino

Para definir la demanda de viajes entre las diferentes zonas de la ciudad en horas de mayor flujo vehicular u horas pico, se adoptó la matriz origen-destino de acuerdo a la encuesta Origen-Destino 2.011 desarrollada por el grupo de Investigación Geomática, gestión y optimización de sistemas – Universidad Industrial de Santander, pudiendo así tener una estimación del cargo vehicular que poseen las vías concurrentes de la ciudad, como son: las carreras 27 y 33, diagonal 15, la autopista Floridablanca- Bucaramanga y la transversal oriental; creando una matriz general de viajes (O-D) en el horario de 7:00 a.m. a 8:00 a.m. que será asignada a la malla vial del Área Metropolitana de Bucaramanga con sus respectivas proyecciones hasta el año 2.030, pudiendo determinar por medio de métodos de asignación que posee TransCad cómo será la distribución de viajes en la red vial y el volumen de tráfico en cada vía.

## 5.4. Función de desempeño de los corredores y asignación de tráfico

En esta etapa se estima la función de desempeño de los tramos dependiendo de los tiempo de viaje en cada sección que constituye la red con el volumen de vehículos que circulan por dichas secciones; por otra parte, los métodos de asignación se basan en procesos iterativos por medio de algoritmos con diferentes factores de impedancia (costo de viaje) hasta que consiguen una convergencia del modelo.

Con base en lo anterior, se empleará una asignación de tráfico multi-modal junto con un modelo de elección discreta que permiten predecir el comportamiento de los individuos que usan habitualmente el vehículo privado en la elección de su ruta de viaje desde su origen a su destino en función de factores de impedancia tales como: el tiempo de viaje, el flujo vehicular, capacidad, valor del modo y el nivel de congestión; por tal motivo se usará el método equilibrio estocástico del usuario para la determinación del volumen de tránsito, que distribuirá los flujos entre múltiples rutas que conectan los pares O-D, y como función de desempeño la desarrollada por la agencia de Caminos Públicos de los Estados Unidos (*Bureau of PublicRoads*), "Ecuación (1)". Teniendo en cuenta la probabilidad de elegir un camino específico dependiendo de los parámetros alfa y beta, que son los que determinan el grado de congestionamiento que tendrán las diferentes vías de la malla vial según su funcionalidad y el tiempo de viaje empleado.

$$t_{ij}(x_{ij}) = t_{ij}^0 \left[ 1 + \alpha \left( \frac{x_{ij}^\beta}{K_{ij}^\beta} \right) \right] \quad (1)$$

Dónde:

$t_{ij}$  : Tiempo de viaje sobre el arco ij.

$x_{ij}$  : Flujo sobre el tramo.

$t_{ij}^0$  : Tiempo de viaje a flujo libre.

$K_{ij}$  : Capacidad el tramo ij.

$\alpha$  y  $\beta$  : Indicadores de congestión, los valores usados normalmente son  $\alpha = 0.15$  y  $\beta = 4.0$

**Tabla 2:** Valores alfa y beta.

Funcionalidad	Alfa	Beta
Autopista	0,78	2,5
Arteria urbana	0,40	5,5
Colector	0,70	4,0
Local	0,78	3,8
Conector a "centroide de zona"	0,15	4,0

**Fuente:** Catillo Rangel – Martínez Estupiñán – Porras Díaz, 2.011.

Por otra parte, para el modelo de asignación de tráfico con el sistema de peaje urbano fijo en el corredor en estudio el método multi-modal se basa en la ecuación de costo generalizado de viaje de los usuarios que recorren por la red vial, “Ecuación 2”. Estableciendo como parámetro de costo el tiempo y para los valores de valor de tiempo del modo (VOT) y equivalente de pasajeros de cada modo (PCE), 1,5 de acuerdo a los estudios que realizo Geomática en la en cuenta OD 2.011 y 1,0.

$$gC_{OD}^m = \sum_{acA_{OD}^m} \left\{ VOT^m \cdot VDF \left( t_a, c_a, \sum_m PCE_m, x_{a,\dots} \right) + FT_a^m \right\} + \sum_{ic.M_{OD}^m} MT_m^i \quad (2)$$

Dónde:

$gC_{OD}^m$ : Costo generalizado entre el par origen-destino para cada modo.

$m$ : Modo.

$a$ : Corredor vial.

$OD$ : Origen-Destino.

$A_{OD}^m$ : Corredor de la ruta más corta desde OD para cada modo  $m$ .

$VOT^m$ : Valor de tiempo para cada modo  $m$ .

$t_a$ : Tiempo a flujo libre de los viajes en la vía.

$c_a$ : Capacidad del corredor vial.

$FT_a^m$ : Peaje fijo en el corredor  $a$  para el modo  $m$ .

$M_{OD}^m$ : Conjunto de nodos del corredor con peaje fijo entre el origen-destino para cada modo  $m$ .

$MT_m^i$ : Valor del peaje para la sección  $i$ , para el modo  $m$ .

$VDF$ : Función de volumen de espera.

$x_a$ : Volumen total en el corredor  $a$ ,  $\sum_m PCE_m$ .

$x_a^m$ : Tipo de flujo  $m$  en el corredor  $a$ .

$PCE_m$ : Equivalente de número de pasajeros para cada modo  $m$ .

## 6. ESCENARIOS DE SIMULACIÓN DE TRÁFICO

El enfoque de esta investigación va dirigido a la implementación de un peaje urbano en uno de los nuevos proyectos viales establecidos en el Plan Maestro de Movilidad, PMM, del Área Metropolitana de Bucaramanga, “Tabla 3”, la vía elegida para efectos de este estudio será la transversal de los cerros que comunica a Bucaramanga con Floridablanca y que posee 7,4 kilómetros, ya que esta cumple con los requisitos en los que se basa la investigación, siendo su extensión adecuada para la implementación de un esquema de cobro por infraestructura (vías rápidas de acceso exclusivo para vehículos particulares) y que no contenga corredores ya existentes.

**Tabla 3** Proyectos metropolitanos a corto plazo de mayor trascendencia en la movilidad del área metropolitana de Bucaramanga.

Tipo de Proyecto	Longitud [ km]	Ubicación
Anillo Vial Externo Metropolitano	9,4	Piedecuesta - Girón
Transversal de los Cerros	7,4	Bucaramanga - Floridablanca
Transversal Norte - Sur	10,7	Bucaramanga - Floridablanca
Viaducto Alterno García Cadena	4,5	Bucaramanga - Floridablanca

**Fuente:** Plan maestro de movilidad del área metropolitana de Bucaramanga 2.011 – 2.030.

Para conocer la distribución de viaje que tendrá el Área Metropolitana de Bucaramanga se emplearon zonas de asignación de tráfico, ZAT, los cuales a su vez tienen nodos que se conectan a la red vial a través de un conector de máximo tres kilómetros de distancia entre los nodos de la ZAT y los centroides de la red.

Los escenarios creados, tienen como matriz de viajes, las proyectadas a 2.015, 2.025 y 2.030.

**Tabla 4:** Escenarios de simulación de tráfico.

Escenario	Descripción	Años			
		2.015	2.020	2.025	2.030
1	Red vial actual	√	√	√	√
2	Red vial actual + Transversal Los Cerros	√	√	√	√
3	Red vial actual + Transversal Los Cerros con peaje urbano	√	√	√	√

## 7. CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA LOS CERROS

El corredor vial iniciará por la avenida Quebradaseca, cerca al barrio Morrórico, a la salida de Bucaramanga hacia Cúcuta, será una vía de doble calzada, "Tabla 5", con señalización en cada uno de los 6 puntos de acceso (costo, longitud y horario de operación), la cual conectara con la transversal oriental, "Figura 5". Antes de entrar en el corredor tarifado existirán vallas que indicaran que se aproxima a una vía que tendrá cobro al ingresar en ella. De igual manera indicará el costo monetario, los días de peaje, el horario y la longitud de la vía. El valor del peaje será variable, dependiendo del número de personas que estén dentro del vehículo, con el fin de fomentar el concepto de autos compartido (HOV). Por otra parte cada vehículo deberá llevar en su interior un transponder o transmisor con el cual se podrá cobrar la tarifa electrónicamente a la hora en que éste entre al corredor. Si por algún motivo un vehículo ingresa a la vía y no lleva un transmisor, deberá tener la posibilidad de realizar su pago en un lapso no mayor a las 24 horas después de haber tomado la vía y los medio de pago serán por medio de mensajes de texto, teléfono internet o en una estación de servicio público.

El corredor contara en cada punto de acceso con cámaras para el reconocimiento del número de matrícula de los vehículos particulares, se utilizaran dos tipos de cámaras: las que captan imágenes de color y las que captan en blanco y negro, las primeras se utilizaran para la ubicación del vehículo y las segundas captaran la matrícula del vehículo. Siendo esta tecnología similar a la utilizada en el peaje urbano de Londres, Inglaterra.

Para este estudio se modificaron de la red creada por Geomántica ciertos atributos para la vía Los Cerros, basándose en el manual de diseño geométrico de carreteras, el manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles y el concepto de vía rápida, algunos de los estos fueron: velocidad, capacidad de servicio, número de calzadas, ancho de calzada, entre otras, [ver anexo 5].

**Tabla 5:** Características vía los Cerros.

Velocidad de Operación [km/h]	80
Capacidad [automóvil/hora/carril]	1.600
Número de Calzadas	2
Ancho de Calzada [m]	7,3



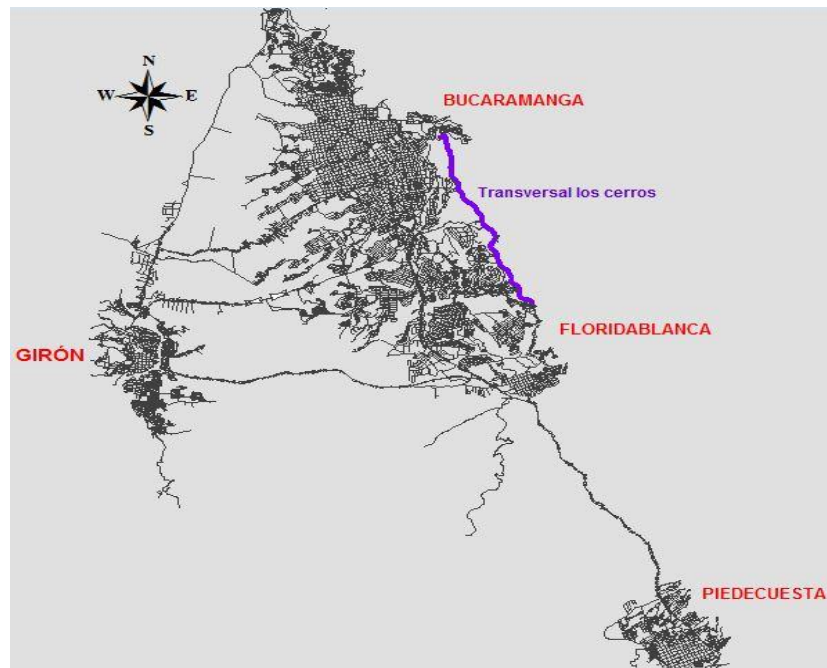
**Fuente:** Conceptos del Manual de Capacidad de Carreteras 2010  
“*HighwayCapacity Manual 2010*”.

Para establecer el costo de ingreso al corredor se deben hacer análisis económicos que den como resultado un valor adecuado para el usuario y la entidad que regula el manejo de la vía, garantizando que su recaudo sea destinado para el pago, construcción y mantenimiento de la vía, como de su sistema operativo. El horario de operación será de lunes a viernes de 6:00 a 20:00. El corredor será de uso exclusivo de vehículos particulares.

## 8. RESULTADOS

Para fines de este estudio se muestran indicadores agregados y desagregados de tráfico como: el flujo de vehicular, la relación volumen-capacidad (VOC), tiempos de viaje (VHT), distancia recorrida (VDT), velocidad de operación y niveles de servicio de la red vial de la ciudad, “Tabla 6”, “Tabla 7”, debido a la extensión de los resultados solo se encuentran los obtenidos en las vías que se verían afectadas por la implementación del sistema de cobro por congestión que se le impondrá a los usuarios que ingresen a la transversal los cerros por cualquier punto de acceso [ver anexo 6].

Por otra parte, para la clasificación de los niveles de servicio en cada punto de control (vías afectadas por el nuevo proyecto) se basó en los criterios establecidos en el Manual de Capacidad de Carreteras 2010 “*Highway Capacity Manual 2010*”.



**Ilustración 6:** Malla vial del Área Metropolitana de Bucaramanga con la transversal los Cerros.

**Fuente:** Malla vial del Área Metropolitana de Bucaramanga suministrado por el grupo de investigación Geomática, gestión y optimización de sistemas – Universidad Industrial de Santander.

**Tabla 6:** Indicadores agregados de tráfico.

Escenario	Índices	AÑO			
		2015	2020	2025	2030
1	VHT	10.344,65	25.450,59	231.874,01	10.517.056,50
	%	-	59,35%	89,02%	97,80%
	VKT	233.224,56	381.594,78	735.162,29	1.587.024,45
	%	-	38,88%	48,09%	53,68%
	<b>Equilibrio</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
2	VHT	10.098,92	23.000,58	173.755,28	7.648.347,43
	%	-	56,09%	86,76%	97,73%
	VKT	232.868,01	379.840,33	718.701,23	1.578.245,17
	%	-	38,69%	47,15%	54,46%
	<b>Equilibrio</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
3	VHT	10.162,55	23.298,43	175.369,49	9.732.753,42
	%	-	56,38%	86,71%	98,20%
	VKT	233.782,12	378.872,23	721.328,85	1.595.439,71
	%	-	38,30%	47,48%	54,79%
	<b>Equilibrio</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>

**Fuente:** Resultados del programa TransCad 5.0.

**Tabla 7:** Indicadores de operación.

Escenario	Variación de tiempo para el total de viajes en el área metropolitana de Bucaramanga			
	2.015	2.020	2.025	2.030
Red local del área metropolitana de Bucaramanga	100%	100%	100%	100%
Transversal los cerros	-2.43%	-10.65%	-33.45%	-37.51%
Transversal los cerros con peaje	-1.79%	-9.24%	-32.22%	-8.06%

**Fuente:** Resultados del programa TransCad 5.0

## 9. CONCLUSIONES

Se concluyó que la implementación de un peaje urbano para Bucaramanga y su área metropolitana, disminuiría la congestión del tráfico vehicular en las vías arteriales de la ciudad, y a su vez generaría una distribución de viajes en el uso del vehículo particular.

Luego de analizar algunos peajes urbanos a nivel internacional se concluyó que estas experiencias disminuyeron la congestión circulatoria, proporcionando tiempos de viaje más cortos en las vías, mejoraron los niveles de servicio de los corredores y reduciendo las externalidades que ocasionan los vehículos particulares; resultados que demuestran que hay probabilidades de poderse llevar a cabo la implementación de este sistema en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Los datos investigados sobre la problemática vehicular de la ciudad permitieron analizar la situación a futuro que vivirá Bucaramanga y su área metropolitana; asimismo, la evaluación del modelo de asignación del tráfico por medio del software TransCad permitió medir el impacto que tendría, si no se toma medidas de gestión de movilidad para reducir el uso del vehículo particular e incentivar a los ciudadanos a elegir un medio de transporte alternativo, cabe resaltar que el análisis que se realizó fue enfocado en el vehículo particular, sin tener en cuenta los datos del transporte del público.

La vía Los Cerros se identificó como el corredor vial a tarifificar, debido a la ubicación privilegiada ya que podría movilizar alrededor de 1800 vehículos por hora. Se llegó a esta conclusión basados en el análisis del plan maestro de movilidad 2011 – 2030 para el Área Metropolitana de Bucaramanga, y en el estudio de la posición de las diferentes vías arteriales de la ciudad.

Utilizando el modelo de asignación basado en el método de equilibrio del usuario estocástico, se analizaron los diferentes escenarios (malla vial actual, malla vial más la vía Los Cerros, malla vial más la vía Los Cerros con peaje urbano) planteados en este estudio y se concluyó que disminuiría la congestión presentada en las diferentes vías principales de la ciudad, contrarrestando el crecimiento acelerado del índice de congestión vehicular presente en la ciudad.



Por otra parte, los modelos de transporte son una herramienta de planificación en las ciudades, por ello, sus resultados deben ser considerados como un insumo para dicha planificación y no como un resultado definitivo para la implementación de nuevas políticas de transporte, requiriendo estudios sociales y tecnológicos para poder pensar en establecer un sistema de gestión de movilidad como lo es un peaje urbano.

El esquema de anillo de peaje empleado por las grandes ciudades y de las que se tiene gran información, no es viable puesto que la superficie de Bucaramanga es muy reducida, y a su vez generaría problemas sociales, aumentando así el rechazo por el sistema de cobro, por estos motivos se decidió optar por el esquema de cobro por infraestructura y no por un anillo de peaje.



## 10. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios socio-económicos, tecnológicos y ambientales para analizar el impacto que trae un sistema de peaje urbano a la ciudad.

También realizar estudios de movilidad de otros o varios proyectos viales al mismo tiempo por ejemplo la transversal los cerros junto con la circunvalar Mensulí para conocer el cambio que tendría la autopista Floridablanca.

El Gobierno genere mayores inversiones en proyectos viales y mejorar el servicio del transporte público; de igual forma disminuir la posibilidad adquisición de vehículos y generar espacios para charlas con los ciudadanos con el fin de que tomen consciencia del uso del vehículo particular para mitigar el crecimiento del parque automotor



## CITAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Pozueta J. “La experiencia internacional de peajes urbanos”, Junio 2008.

[2] LandTransport and Authority: <http://www.lta.gov.sg> [citado el 15 de Mayo de 2014].

[3] SERRALLONGA Joan, SASTRE GONZALEZ Julián, “El peaje urbano: aspectos clave para su estudio y aplicación”.

[4] PAPI FERRANDO José Francisco, The London congestion charge, Plataforma tecnológica española de la carretera (PTC), Madrid, Mayo- Junio de 2011.

[5] TRANSPORTFOR LONDON: <http://www.tfl.gov.uk> [citado el 15 de Mayo de 2014].

[6] FAST FORWARD 91, Comisión de transporte del condado de Riverside, primavera de 2013.

## BIBLIOGRAFÍA

Aldana, Claudia, Modelación de la generación y atracción de viajes en el valle de Aburrá 2005, Colombia, 2007.

CAL Y MAYOR, Rafael, Ingeniería del tránsito Fundamentos y Aplicación, Octava edición, México, enero de 2007.

Contexto sectorial, Colombia total (Boletín Estadístico) 2013 –CENAC.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, Reporte de transporte urbano de pasajeros IV trimestre de 2013.

Lotero L. “Modelo matemático para la asignación de tráfico al sistema de transporte urbano aplicado al valle de aburrá”, 2010.

Manual de Capacidad de Carreteras 2010, HCM 2010, Capitulo 5 Calidad y conceptos de nivel de servicios.

Plan Maestro de Movilidad Área Metropolitana de Bucaramanga 2011 – 2030, Universidad Industrial de Santander, 2011.

Priorización de proyectos de infraestructura vial mediante el uso de un modelo de asignación de tráfico en el Área Metropolitana de Bucaramanga, 2011.

Rodríguez, Antônio, Ferramentas específicas de um Sistema de informações Geográficas para Transportes, São Carlos, novembro de 1998.

Santander exporta- Datos estadísticos de exportaciones Enero – Agosto 2013.



CONSTRUIMOS FUTURO

Universidad Industrial de Santander  
Propuesta para la implantación de un peaje urbano, mediante el uso de  
herramientas de simulación para el Área Metropolitana de Bucaramanga