

# Cobros de congestión en ciudades Colombianas



13

## **University College London-Reino Unido**

### **Profesores**

Nick Tyler

### **Asistentes de investigación**

Claudia Ramírez

Adriana Ortegón

## **Universidad de los Andes-Colombia**

### **Profesores**

Jorge Acevedo Bohórquez

Juan Pablo Bocarejo Suescún

Juan Miguel Velásquez

### **Asistentes de investigación**

Gonzalo Enrique Guerra

María Angélica Pérez

Diana Carolina Galarza

Andrés Javier Peña

**Fecha de publicación:** Abril de 2013



## CONTENIDO

Resumen ejecutivo .....	1
Introducción .....	6
Marco teórico .....	7
Congestión.....	7
Peaje de congestión Pigouviano .....	8
Demanda .....	8
Costo generalizado de transporte .....	9
Valor del tiempo .....	9
Costo individual, costo social .....	9
Cobro por congestión .....	11
Esquemas y tecnologías disponibles para el cobro .....	13
Impactos del peaje de congestión.....	19
Experiencias internacionales .....	22
Londres .....	22
Edimburgo .....	24
Estocolmo.....	25
Congestión en ciudades colombianas .....	27
Estudio de caso: Bogotá .....	27
Posibles tipos de cobros por congestión en Bogotá.....	31
Análisis del caso de estudio de Bogotá.....	49
Estudio de caso: Cali .....	51
Recomendaciones de aplicación del cobro por congestión .....	56
Definición de objetivos .....	56
Aceptabilidad del peaje de congestión .....	57
Inversión de recursos recaudados.....	58
Aspectos institucionales .....	58

Política integral.....	59
Conclusiones.....	61
Bibliografía.....	62

## RESUMEN EJECUTIVO

El fuerte crecimiento urbano de los países latinoamericanos acompañado de un creciente poder adquisitivo hace que en los próximos años el tema de la congestión y la contaminación generados por el tráfico automotor sea cada vez más relevante.

Una idea original de la región, aunque con problemas en términos de eficiencia económica y con limitaciones en el mediano plazo, es la restricción vehicular ligada a la placa, especialmente utilizada en ciudades colombianas. Ya en varios países de América Latina se exploran otras iniciativas probadas a nivel internacional en búsqueda de tener un uso más eficiente y racional del automóvil.

Una de éstas es el cobro por congestión. La presente guía tiene por objetivo presentar de manera teórica y con aplicaciones prácticas algunos de los elementos esenciales de esta política.

### Los principales mensajes de la guía son:

1. El cobro por congestión es apenas una de las herramientas encaminadas a actuar sobre la demanda de transporte. Es deseable considerar otras como las políticas de estacionamiento, restricciones zonales, carro compartido, incremento en el valor de insumos y disminución de espacio para el vehículo privado, etc. Todas las anteriores podrían ser medidas complementarias al cobro.
2. Las causas de la congestión no son exclusivas de un exceso de vehículos frente a la disponibilidad de vías. La mala gestión del tráfico, el estado de las vías, la ausencia de cultura ciudadana pueden ser variables aún mayores de congestión. Es necesario entender bien la congestión en cada ciudad y generar las medidas más efectivas, no necesariamente ésta es el cobro por congestión.
3. Es indispensable tener un rigor técnico y económico en la evaluación de la viabilidad de este tipo de medidas. Previo a su aplicación es clave verificar que los beneficios para la sociedad superan los costos. En algunas ciudades el costo de implementación de un peaje puede ser mayor al ahorro en disminución de la congestión, en especial si esta congestión no es alta.
4. Una vez se ha decidido aplicar un cobro por congestión, al planearlo y diseñarlo, - es esencial definir por parte del gobierno municipal su objetivo. Este puede no ser únicamente llegar a un punto óptimo de congestión, sino promover un cambio modal, generar recursos que permitan inversiones en otros modos más sostenibles, promover un sistema más fiable y seguro. Dependiendo de las prioridades, este cobro tendrá un diseño diferente.
5. La implementación de un cobro por congestión implica un monitoreo constante. Dicho monitoreo comienza desde el primer día de operación y se mantiene durante la vida útil del cobro.
6. Institucionalmente, es fundamental asignar un responsable del proyecto que coordine exitosa y colaborativamente las diferentes instituciones relacionadas, directa o indirectamente, con el proyecto. La gobernanza con que goza un ente de éste tipo es esencial para el éxito del cobro por congestión
7. La tecnología para el cobro y fiscalización de los cobros por congestión es costosa. Adicionalmente, es conveniente que se integre con otros usos que contribuyan a futuro a una mejor gestión de tráfico. Así por ejemplo, si se proponen sistemas de identificación vehicular es importante plantear que puedan ser compatibles con los sistemas de cobro por congestión.
8. El proyecto de cobro por congestión para que sea viable requiere de intervenciones en otros modos de transporte: Revisión del espacio público, mejoramiento de facilidades para ciclistas y peatones y especialmente mejoramiento de la capacidad y calidad del transporte público.

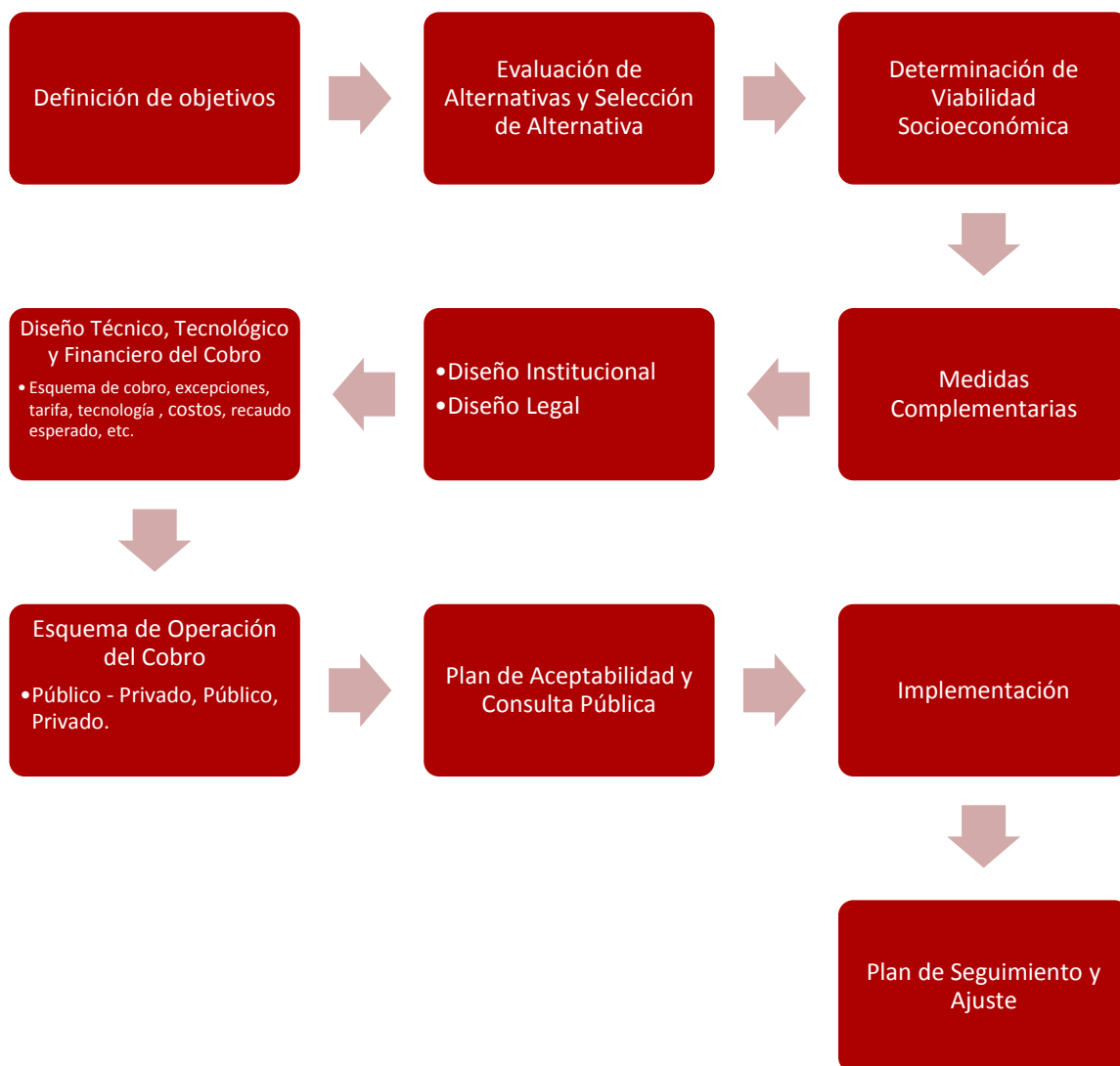
9. Los problemas de aceptabilidad son complejos: El usuario podrá considerar que en sus impuestos está pagando por el uso de las vías y que tiene derecho a ello. Es importante que la inversión de los excedentes sean visibles y que el mensaje que se transmita sea el cobro por congestionar y contaminar y no por usar vías. Por lo tanto, es importante desarrollar campañas de sensibilización y participación de la comunidad para que entiendan el proyecto antes de que sea implementado. Así mismo se requieren programas claros de información y señalización para facilitar su entendimiento una vez implementado.

**Algunas ideas para resolver las principales preguntas de implementación de un cobro por congestión**

<p>¿Qué es lo primero a la hora de pensar, planear y diseñar un cobro por congestión?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lo primero es definir claramente los objetivos que persigue el cobro.</li> </ul>
<p>¿Qué objetivos deben explorarse?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Objetivos de Movilidad:</b> Reducción de congestión, reducción de volumen de vehículos en la hora pico, aumento de velocidad, aumento de la confiabilidad, promoción de usos alternativos más sostenibles (Transporte público y no motorizado).</li> <li>• <b>Objetivos Ambientales:</b> Reducción de emisiones de gases efecto invernadero debidas al transporte, reducción de ruido.</li> <li>• <b>Objetivos Financieros:</b> Obtención de recursos para la ciudad.</li> <li>• <b>Objetivos Sociales:</b> Aumento en la equidad mediante el invertir los recursos obtenidos en modos alternativos como el transporte público.</li> <li>•</li> </ul>
<p>¿Cómo se define la viabilidad del cobro por congestión?</p>	<p>Un cobro por congestión viable es aquél:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En el que los beneficios generados a la sociedad superan el conjunto de costos asociados al esquema.</li> <li>• Que es de fácil entendimiento para la población y es aceptado por ésta.</li> <li>• Que Goza de apoyo político.</li> <li>• Que es funcional dentro del contexto interinstitucional de la ciudad.</li> <li>• Que transfiere los recursos obtenidos reinvirtiéndolos en la ciudad, principalmente en modos no motorizados y transporte público.</li> <li>• Es aquél para el que medidas de fortalecimiento del transporte público y no motorizado se han implementado previamente y durante la instalación y operación del cobro.</li> </ul>
<p>¿Cómo se define la zona de cobro?</p>	<p>La zona o corredor de cobro debe ser aquella / aquel que:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presente problemas de congestión.</li> <li>• Presente bajas velocidades de circulación.</li> <li>• Presente alta densidad de empleos y comercio.</li> <li>• Sus usuarios tengan capacidad de pago media-alta en relación a la media de la población.</li> </ul>
<p>¿Qué se debe considerar para definir la tarifa al usuario?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La cantidad de vehículos afectados.</li> <li>• La capacidad de pago de los usuarios de la zona o corredor.</li> <li>• El grado de congestión presente en la zona.</li> <li>• La elasticidad de la demanda de transporte privado ante el precio.</li> <li>• Las expectativas de recaudo.</li> <li>• Los costos de implementación, operación y mantenimiento.</li> </ul>
<p>¿Quiénes deberían tener tarifas especiales?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La población que reside dentro de la zona de cobro.</li> <li>• Los vehículos de atención médica y emergencias.</li> <li>• Los vehículos de fuerzas policiales y armadas.</li> <li>• Los vehículos de tecnologías más limpias (eléctricos, híbridos, etc.)</li> <li>• Vehículos de otros entes importantes, con previo acuerdo</li> </ul>
<p>¿Cómo se define la tecnología a usar?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A partir del esquema de cobro a implementar (por área, por distancia recorrida, por cordón, etc.).</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La extensión del área a ser cobrada (número de puntos de control necesarios).</li> <li>• La aceptabilidad (por ejemplo preocupación por invasión a la privacidad en el caso de sistemas satelitales).</li> <li>• Los procedimientos de fiscalización (Bases de datos confiables y actualizados, cuentas bancarias, etc.).</li> <li>• El contexto institucional (¿Quién lo opera?, ¿Cómo se maneja el recaudo?, etc.).</li> <li>• El contexto cultural (cultura de evasión, modificación ilegal de placas, vandalismo, etc.).</li> <li>• Las restricciones presupuestales existentes</li> <li>• La visión a largo plazo de la región (¿Se expandirá el cobro?, ¿Se implantarán cobros en zonas cercanas que requerirían interoperabilidad y compatibilidad?, ¿Se utilizará la tecnología del cobro para otros propósitos como seguridad, cobros ambientales, etc.?)</li> </ul>
<p>¿Qué inversiones adicionales se requieren?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversiones previas para aumentar la atraktividad y capacidad del transporte público, la bicicleta y la caminata.</li> <li>• Inversiones en procesos de participación y consulta pública.</li> <li>• Inversiones en divulgación de información a la población.</li> <li>• Inversiones en tecnologías complementarias al cobro (tecnologías de información y gestión de tráfico en tiempo real, tecnologías para el control de infractores y de la fiscalización).</li> <li>• Inversiones en mejoramiento de la gestión de tráfico.</li> </ul>
<p>¿Quién debe estar a cargo?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Una única autoridad integrada de transporte con capacidad ejecutora sobre los distintos componentes del sistema de transporte de la ciudad (Infraestructura vial, manejo del tráfico, administración de la demanda, buses, taxis, trenes, etc.)</li> </ul>
<p>¿Cómo mejorar la aceptabilidad?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reinvertiendo los recursos obtenidos en la ciudad y en el transporte público y no motorizado.</li> <li>• Haciendo visible la transferencia de beneficios.</li> <li>• Comunicando con claridad que el motivo del cobro es la congestión generada y no el uso de las vías.</li> <li>• Presentando (y pensando) el cobro como parte de una estrategia más amplia, compuesta por conjunto de medidas complementarias de fortalecimiento de modos alternativos al automóvil (transporte público, bicicleta y caminata), gestión de la demanda de transporte, control de tráfico, sistemas de información de tráfico, etc. Así mismo, como parte de una estrategia direccionada por objetivos generales de reducción de emisiones, aumento de equidad, reducción de ruido, etc.</li> </ul>
<p>¿Por qué hacer seguimiento y evaluación?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La obtención de información para seguimiento y evaluación idealmente debe ser recogida en tiempo real. Esto permite:</li> <li>• Conocer y cuantificar los beneficios de la implementación del cobro.</li> <li>• Priorizar la inversión de capital en mejoras y mantenimiento.</li> <li>• Obtener información que potencie el desempeño del esquema en el futuro y aplicar procedimientos de mejora continua.</li> <li>• Adaptar el sistema ante cambios estructurales, económicos y políticos de la ciudad.</li> <li>• Brindar información en tiempo real al usuario para influenciar sus procesos de decisión y mejorar la confiabilidad del viaje.</li> <li>• Mantener la confianza pública en el esquema de cobro por congestión.</li> <li>• Administrar imprevistos para mitigar sus impactos en la movilidad de la ciudad.</li> </ul>

Los pasos del proceso de aplicación de un cobro por congestión son:





**Un ejemplo académico de implementación de un cobro por congestión en Bogotá y Cali y sus posibles resultados:**

	Bogotá	Cali
Problema de congestión: Tiempo promedio de viaje actual. (Minutos)	56	34
Posibles zonas o corredores	<p><b>Zona 1:</b> Limitada por la Avenida Circunvalar, la Avenida Caracas, la Calle 26 y la Calle 72.</p> <p><b>Zona 2:</b> Limitada por la Avenida Circunvalar, la Carrera 30, la Calle 6 y la Calle 100.</p> <p><b>Corredor 1:</b> Avenida NQS</p> <p><b>Corredor 2:</b> Autopista Autonorte</p> <p><b>Corredor 3:</b> Avenida Boyacá</p>	<p><b>Zona:</b> Limitada por la Calle 5ta, la Avenida Colombia, la Carrera 1ra, la Calle 25 y la Carrera. 15</p> <p><b>Corredor 1:</b> Autopista Sur entre Calles 23 y 26.</p> <p><b>Corredor 2:</b> Avenida Pasoancho entre Carrerea 44 y 56.</p>
Potencial de disminución de volúmenes de automóviles	<p><b>Zona 1:</b> Objetivo 1: - 26% Objetivo 2: - 48%</p> <p><b>Zona 2:</b> Objetivo 1:- 24% Objetivo 2: - 48%</p>	<b>NO DISPONIBLE</b>
Potencial de mejora velocidad	<p><b>Zona 1:</b> Objetivo 1: + 6 km/hrs Objetivo 2: + 10 km/hrs</p> <p><b>Zona 2:</b> Objetivo 1: + 7 km/hrs Objetivo 2: + 11 km/hrs</p>	<b>NO DISPONIBLE</b>
Potencial de recaudo (MM \$/ año)	<p><b>Zona 1:</b> Objetivo1 :39500 Objetivo 2: 60100</p> <p><b>Zona 2:</b> Objetivo 1: 119000 Objetivo 2: 196600</p>	<b>NO DISPONIBLE</b>
Posible cobro por entrar a la zona (\$)	<p><b>Zona 1:</b> Objetivo 1: 3100 Objetivo 2: 7300</p> <p><b>Zona 2:</b> Objetivo 1: 2500 Objetivo 2: 6600</p>	<b>NO DISPONIBLE</b>

**Notas:** el Objetivo 1 consiste en lograr la congestión óptima en la que el usuario internaliza los costos que genera a la sociedad por usar el vehículo privado. El Objetivo 2 consiste en lograr la maximización de recursos recaudados.

## INTRODUCCIÓN

El Fondo para la Prosperidad es una iniciativa global del Ministerio Británico de Relaciones Exteriores creado en abril del año 2011 con el fin de proporcionar apoyo a la agenda de prosperidad de aquellas economías emergentes, que cuentan con un alto potencial de crecimiento y promueven un crecimiento global sostenible.

Por medio de la introducción de cambios en las políticas a largo plazo el Fondo para la Prosperidad pretende combatir el cambio climático, asegurar la eficiencia y seguridad energética y fortalecer la economía mundial. En su segundo año de acción, periodo 2012-2013, el Fondo para la Prosperidad apoya el desarrollo de proyectos realizados en una red de 15 países y regiones por medio de un soporte financiero de 19 millones de libras. Los países con programas específicos son: Brasil, China, Colombia, India, Indonesia, Japón, México, Rusia, Sudáfrica, Corea del Sur y Turquía. Los fondos de prosperidad regionales tienen intervención en América Latina, el Sudeste de Asia y el Medio Oriente.

En el año 2012 por primera vez se realizan en Colombia proyectos apoyados por el Fondo para la Prosperidad de la Embajada Británica, para los cuales se destinaron cerca de 500.000 libras. Como resultado del programa de prosperidad se espera implementar políticas que promuevan un crecimiento verde y una mejora en el ambiente de negocios e inversión. Así mismo se pretende lograr un progreso significativo en el cumplimiento de los requisitos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en materia de transparencia, el medio ambiente, la competitividad, la inversión y la innovación. Por último, se espera adquirir la experiencia necesaria para implementar con éxito programas de asociación público-privada, se pretende desarrollar investigaciones científicas sólidas y soportar la política de innovación para mejorar la competitividad de Colombia.

El proyecto "Apoyo institucional y regulatorio para el transporte urbano de bajo carbono en Colombia" hace parte del programa de prosperidad de la Embajada Británica en Colombia y es desarrollado en conjunto por el grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR) de la Universidad de los Andes y University College London del Reino Unido. Soportado por la experiencia del Reino Unido, el principal objetivo del proyecto es fortalecer el marco de política nacional para transporte bajo en carbono en Colombia, aumentar la capacidad institucional para su implementación y apoyar la formulación de políticas nacionales para los cobros por congestión y contaminación.

Este documento es una guía que pretende dar fundamentos teóricos sobre los cobros por congestión y hacer, a manera de ejemplo, una primera aproximación a lo que podrían ser dichos cobros en Bogotá y Cali. La guía inicia con un marco teórico sobre la congestión y los conceptos detrás de los peajes, los esquemas y tecnologías más comunes y los posibles impactos de estas medidas. Posteriormente, se detallan experiencias internacionales implementadas como las de Londres y Estocolmo, y experiencias que no fueron llevadas a la práctica como la de Edimburgo. En la guía se hace un breve análisis de la situación de la congestión en las ciudades colombianas, detallando la situación de Cali y haciendo una posible aplicación a manera de ejemplo para el caso bogotano. Por último, se plantean recomendaciones para las ciudades que están pensando en implementar este tipo de cobros en relación con los objetivos de la medida, los problemas de aceptabilidad de la medida, la inversión de los recursos recaudados, los aspectos institucionales a considerar y la necesidad de ver los cobros dentro de una política integral de transporte sostenible.

Congestión

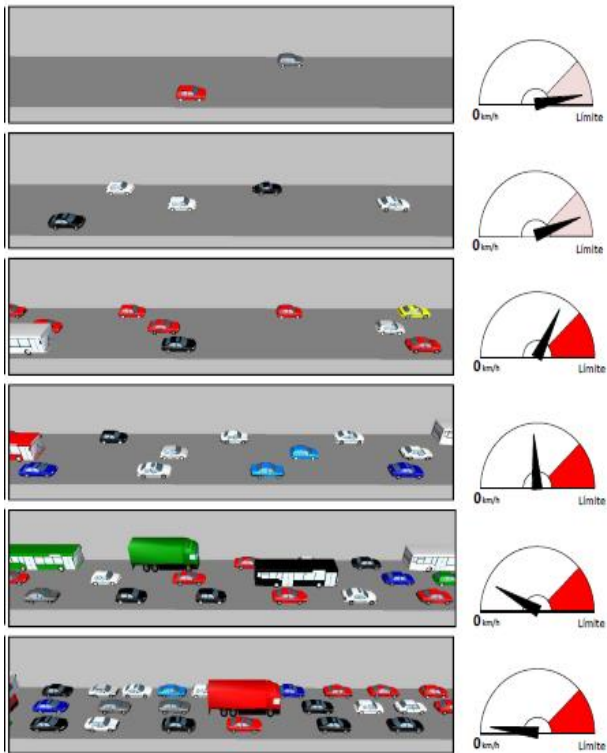


Figura 1. Impacto del volumen de vehículos sobre la velocidad

La congestión desde un punto de vista teórico puede definirse como la relación entre la capacidad de una infraestructura de transporte y el número de vehículos que desean transitar por ella.

Hasta un cierto nivel de tránsito vehicular un individuo que viaja por una determinada vía puede hacerlo a una velocidad deseada, que se mantiene dentro de los límites de la ley (velocidad a flujo libre). En la medida que el volumen vehicular aumenta por el ingreso de más vehículos en la vía se genera una reducción de la velocidad de viaje, debida a la interacción entre ellos, como se muestra en la Figura 1.

En el momento en que el ingreso de un vehículo adicional en la vía estorba el desplazamiento de los demás, comienza la situación de congestión. La congestión se intensifica a medida que la cantidad de vehículos en la vía aumenta y esto lo experimentan los usuarios de las vías mediante mayores incrementos en su tiempo de viaje (Ver Figura 2).

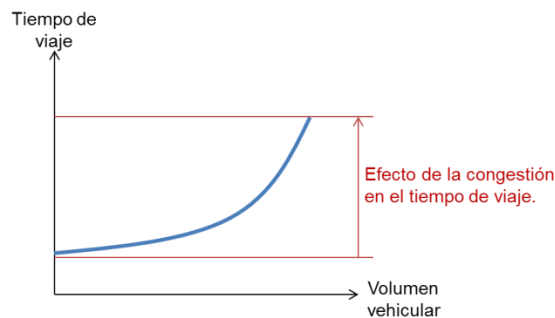


Figura 2. Efecto de la congestión en el tiempo de viaje  
Fuente: Elaboración propia

Desde la perspectiva de la eficiencia económica se considera que la ausencia absoluta de congestión induce a un uso ineficiente de la infraestructura vial soportado por una inversión importante de recursos para mantener una velocidad a flujo libre en las vías de la ciudad. El problema con la congestión desde una visión económica empieza cuando el nivel de congestión es superior al nivel socialmente óptimo y esto se atribuye

principalmente a hecho que los usuarios de las vías no internalizan la totalidad de los costos que generan al usarlas lo que resulta en un nivel de congestión que es superior al nivel socialmente óptimo.

Es de mencionar que aunque el volumen vehicular es una de las causas más importantes de la congestión, no es la única. La congestión es el resultado de un conjunto de falencias en los diferentes elementos que componen el sistema de transporte (Ver CUADRO 1) y por consiguiente su solución no depende únicamente de sacar vehículos de las vías, sino que se hace necesaria la inclusión de medidas complementarias para mitigar los efectos de la congestión en las ciudades.

#### CUADRO 1. OTRAS CAUSAS DE LA CONGESTIÓN

- Inadecuado diseño de la infraestructura vial
- Escasez de mantenimiento de la malla vial
- Señalización vial inapropiada o ausente
- Comportamiento inapropiado de los conductores y peatones
- Desconocimiento de las condiciones de tránsito
- Mal estado de los vehículos
- Vehículos de tracción animal circulando con los vehículos motorizados
- Sistema semafórico obsoleto y/o desligado de las condiciones del tránsito vehicular y /o con ambigüedad en la prioridad de paso.

## PEAJE DE CONGESTIÓN PIGOUVIANO

### DEMANDA

La cantidad de individuos que desean utilizar determinada infraestructura constituyen la demanda. Para el caso de una vía, los individuos deciden utilizarla o no dependiendo de las características de ésta y su relación con el resto de la red de transporte. La teoría económica dice que la cantidad de individuos que demandan el uso de la vía depende del costo de utilizarla.

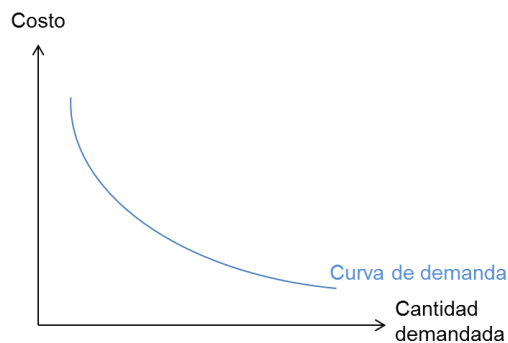


Figura 3. Curva típica de demanda  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3 se observa la curva típica de demanda (en este caso, de una vía) en la cual se ve representado que a mayor costo menor cantidad demandada y viceversa.

---

## COSTO GENERALIZADO DE TRANSPORTE

Para los usuarios de la red de transporte existen diferentes componentes del costo en el que incurre un individuo al transportarse. Los principales son: El costo monetario del viaje (tarifas, costo de combustible, mantenimiento del vehículo, etc.) y el costo del tiempo de viaje. Cada uno de estos elementos hace parte del costo generalizado de transporte para el usuario, el cual determina la conveniencia o utilidad que representa utilizar una alternativa de transporte u otra.

---

## VALOR DEL TIEMPO

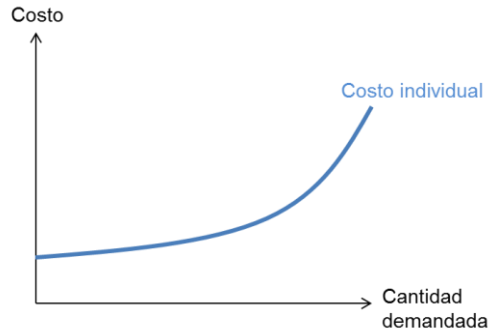
El valor del tiempo es el elemento que permite monetizar el tiempo empleado por los usuarios en transportarse. Este es propio de cada uno de los usuarios y se asocia a sus características socio-económicas. Desde una perspectiva económica el valor del tiempo es el costo de oportunidad de que los individuos inviertan tiempo en transportarse y no en otras actividades productivas. Por lo tanto representa lo que un individuo está dispuesto a pagar por ahorrar tiempo de viaje y es igual a la tasa marginal de sustitución entre el tiempo de viaje y su costo monetario. Esta disponibilidad a pagar se determina en función de las características socioeconómicas de los individuos, de tal manera que aquellos con mayores ingresos tienen mayor capacidad de pago, respecto a los individuos de menores ingresos, y por lo tanto, están dispuestos a pagar más por ahorrarse un minuto de viaje. Durante años, esta línea de pensamiento favoreció proyectos de transporte que beneficiaban a los grupos socioeconómicos de mayores ingresos, ya que los justificaba por altos beneficios cuantificados de ahorro de tiempo.

Es por lo tanto, que **el valor del tiempo de los usuarios** resulta ser una de las principales variables en el análisis de la congestión y sus costos. La formulación de políticas y medidas pueden ser determinadas por esta variable ya que, en el caso de proyectos de transporte, el tiempo de viaje y sus costos son el principal insumo de análisis de beneficios. Considerando la importancia del *valor del tiempo* en la evaluación de proyectos de transporte, es fundamental que esta variable obtenga la atención necesaria, desde su estimación hasta su aplicación y utilización.

---

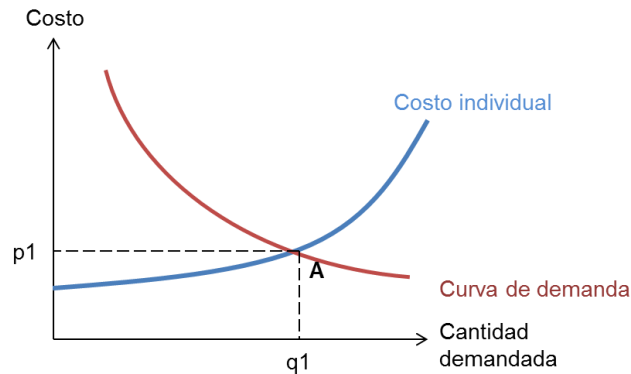
## COSTO INDIVIDUAL, COSTO SOCIAL

El costo en el que cada usuario incurre para transportarse, incluyendo los efectos de agentes externos a su actividad (ej. Congestión), es el costo individual. Éste representa lo que cada miembro de la sociedad pierde por movilizarse por medio de la red de transporte (Ver Figura 4).



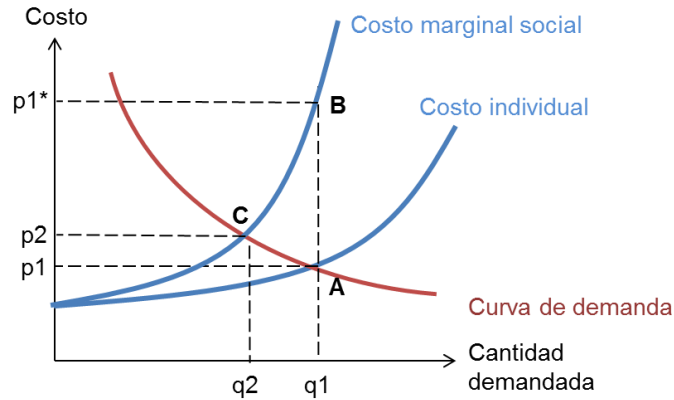
**Figura 4. Curva típica de costo individual**  
**Fuente: Elaboración propia**

En el caso de una vía, la cantidad de vehículos que la utilizan está determinada por el equilibrio del costo individual de los usuarios y la demanda. En la Figura 5 se muestra el punto de equilibrio por costos individuales (Punto A).



**Figura 5. Equilibrio por costos individuales**  
**Fuente: Elaboración propia**

Para la evaluación económica de medidas y políticas, el costo social es uno de los principales componentes del análisis para la toma de decisión. El costo social hace referencia a la inconveniencia para la totalidad de los usuarios, en conjunto, de determinada situación o escenario. Para la sociedad, cada usuario que quiere utilizar la vía trae un costo que es equivalente a su costo interno (el del usuario) y el que él le genera a los demás.



**Figura 6 Diagrama típico de oferta y costo incluyendo costo social marginal**

Fuente: Elaboración propia

La Figura 6 presenta las curvas de demanda costo individual (CI) y costo social marginal (CSM). En ésta se puede observar que CSM es mayor que CI, esto se debe a que CSM está compuesto por el costo individual (Costo interno) más un componente que representa el costo adicional que cada individuo que utiliza el sistema les trae a los demás (Costo externo). En términos matemáticos CSM se define de la siguiente forma:

$$CSM = \boxed{CI} + \boxed{\frac{\partial CI}{\partial Q} * Q}$$

Costo      Costo  
Interno    Externo

Donde Q es la cantidad demandada.

La diferencia entre p1 y p1\* es el costo que cada individuo genera a los demás por la utilización simultánea de la vía, en la situación en que el equilibrio se diera en A.

El punto de equilibrio C es el óptimo social, puesto que en este punto todos los usuarios internalizan el costo generado a los demás, reduciendo las pérdidas en tiempo debidas al excesivo volumen vehicular y haciendo más eficiente la utilización de la vía.

---

## COBRO POR CONGESTIÓN

Con el fin de lograr un óptimo social, para el cual los conductores perciban un costo individual de cada viaje igual al costo social que generan, es necesario implementar un mecanismo mediante el cual cada usuario internalice los costos generados al resto de la sociedad. El cargo por congestión es herramienta económica que permiten alcanzar este objetivo, imponiendo una tarifa a todo aquel que utilice la infraestructura que se pretende intervenir, logrando así un nivel óptimo de congestión.

Como se mencionó anteriormente, al presentarse equilibrio por costos individuales los usuarios del sistema perciben únicamente los costos que les representa a sí mismos la realización del viaje, sin embargo no incluye los costos que les generan a los demás usuarios derivando en una sobreutilización de la infraestructura. Es por esto que, en los periodos congestionados, resulta conveniente que los individuos internalicen los costos que le generan a los demás, y que la respuesta a esta internalización de costos sea una reasignación de recursos que permitan optimizar la utilización del sistema.

En la Figura 7 el punto C representa la situación en la cual los usuarios del sistema internalizan los costos por congestión, y lo hacen percibiendo  $p_2$  que es mayor que lo que percibían en el equilibrio por costos individuales ( $p_1$ ). La diferencia entre  $p_2$  y  $p_3$  sería el cargo por congestión necesario para optimizar la asignación de recursos y así maximizar los beneficios que la sociedad tiene por la utilización de la infraestructura.

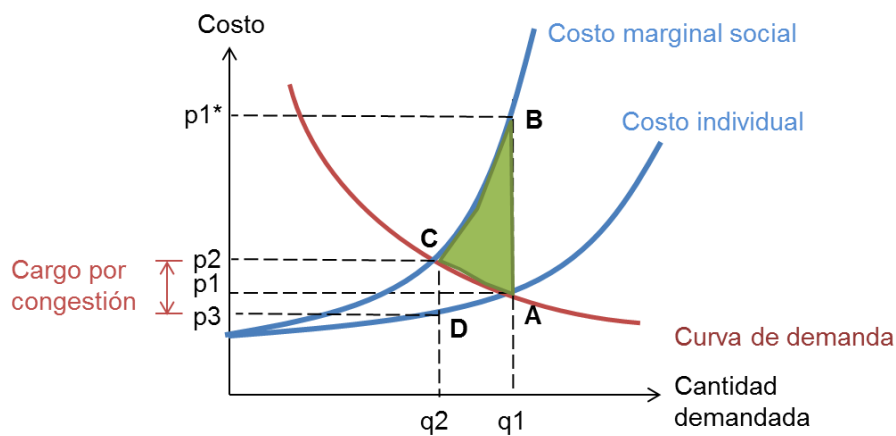


Figura 7 Esquema típico de cargo por congestión

Fuente: Elaboración propia

El nuevo punto de equilibrio trae beneficios sociales (ahorros en pérdidas de tiempo) equivalentes al área sombreada en la Figura 7. Cabe anotar que estos son los beneficios del cobro por congestión asociados únicamente a los efectos en el tráfico que tiene este tipo de medidas, existen otros efectos y cobeneficios que no son incluidos en éste análisis. Por otro lado, el recaudo que el sistema traería es el monto del cobro ( $p_2-p_3$ ) por la cantidad de usuarios en el punto de equilibrio C ( $q_2$ ).

Por último, cabe resaltar que el cobro por congestión es solo una de las herramientas económicas que permiten gestionar la demanda del vehículo privado y por consiguiente las externalidades asociadas a su uso. Por lo tanto es de considerar que dentro de este conjunto de medidas se encuentran otras herramientas económicas que pueden utilizarse para lograr los objetivos asociados al uso del vehículo privado en las ciudades colombianas (Ver CUADRO 2).

**CUADRO 2. OTRAS HERRAMIENTAS ECONÓMICAS**

- Incremento de las tarifas de estacionamientos
- Impuesto por adquisición del vehículo
- Impuesto a la tenencia del vehículo
- Impuesto a la gasolina
- Peajes urbanos



## ESQUEMAS Y TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA EL COBRO

La teoría del cobro por congestión resulta difícil de aplicar. Esta teoría plantea que los costos de congestión varían dependiendo de la vía y hora, en síntesis del tráfico presente y que para eliminar la congestión, el cobro debería ser diferenciado. Es por esto que, en su implementación ha sido necesario acudir a esquemas simplificados que, aunque puede que no logren llevar la utilización de la infraestructura al óptimo teórico, permiten reducir significativamente los costos sociales de la congestión

En la Tabla 1 se presentan las diferentes opciones de esquema junto con sus características, de acuerdo a lo reportado en la literatura. Cualquiera de estos esquemas puede tener un grado de refinamiento adicional si el cobro es diferencial dependiendo de la hora del día a la cual el usuario está siendo cargado, puesto que el nivel de congestión está relacionado con el periodo del día.



**Tabla 1. Características de los diferentes esquemas de cobro (Basado en: Steer Davies Gleave, 2009)**

Tipo de esquema	Aproximación al óptimo	Costo de fiscalización	Legibilidad
Zona única	Pobre	Alto (control al interior de la zona)	Muy buena
Zonas múltiples	Mejor que una sola zona	Alto (control al interior de la zona)	Buena
Cordón único	Pobre	Bajo (sólo en puntos de cobro)	Muy Buena
Cordones múltiples	Mejor que un solo cordón	Bajo (sólo en puntos de cobro)	Buena
Corredores	Buena	Bajo (sólo en puntos de cobro)	Buena
Sistemas mixtos de cordón y corredor	Muy buena	Bajo (sólo en puntos de cobro)	Menor

La implementación de un esquema de cargo por congestión trae consigo desafíos tecnológicos, sociales y operacionales. Actualmente existen diversas tecnologías que permiten la identificación de vehículos que pasan por un punto determinado. Para la escogencia de tecnología de cobro es necesario tener en cuenta las características del esquema y de la infraestructura que se va a intervenir para su puesta en marcha. Así mismo, la tecnología que se escoja depende de los objetivos perseguidos e, idealmente, debe involucrar la visión a largo plazo que se tenga de la ciudad o región en que se implemente: ¿Se espera expandir el sistema en el futuro?, ¿Se espera que con el tiempo sirva otros propósitos adicionales, tales como cobros ambientales, seguridad o cargos a vehículos de carga por distancia recorrida?, ¿Se espera que regiones cercanas instalen otros sistemas de cobro en el mediano o largo plazo, con las cuales sería necesaria una compatibilidad en la fiscalización? (Palma. A & Lindsey. R, 2011). En la Tabla 2 se resumen los tipos de tecnologías de cobro; tanto no electrónicos, como electrónicos. Vale mencionar que dentro de las tecnologías basadas en infraestructura de pórticos o postes también existen otros equipos de reconocimiento automático de vehículos, tales como conteo por circuito de radiofrecuencia, ultrasonido y escáner de láser. Estas tres tecnologías se comparan por aparte más adelante.

**Tabla 2. Clasificación de tecnologías. Fuentes: (FHWA (Federal Highway Administration), 2008); (Palma & Lindsey, 2011); (Steer Davies Gleave, 2009); (The World Bank Group, 2008)**

Familia	Clase	Tecnologías	Elementos o Subtecnologías
Sistemas de cobro No Electrónico	Manual	Sistemas de papel	Licencia / Permiso /Calcomanía
			Regulación a infractores en puntos de control
		Cobro manual en plazas (tipo peaje)	Efectivo/vouchers/Tarjetas Electrónicas o Inteligentes
			Plaza o Caseta
			Valla pivoteable
Sistemas de Cobro Electrónico	Basados en Infraestructura de Pórticos o Postes	Reconocimiento por video /Reconocimiento automático de placas (ALPR or ANPR)	Cámaras
			Dispositivos de Iluminación
			Pórticos / Postes
			Dispositivos de Clasificación de Vehículos
			Centro de control (Procesamiento de datos y verificación)
		DSRC (Infrarrojo/Microondas/Rfid) Cobro a Flujo Ininterrumpido usando Transpondedores y Pórticos	Antenas
			Pórticos / Postes
			Tags/Traspondedores/OBU (Unidad Intra Vehicular)
			Radio frecuencia/ Microondas / Infrarrojo
			Puntos de venta o Distribución (para OBU)
	Centro de control (Procesamiento de datos y verificación)		
	Basados en Equipos Intra Vehiculares	Tecnologías de localización vehicular (VPS ) GNSS: GPS/ GLONASS/GALILEO	OBU / Odómetro / Tacógrafo
			Tarjeta Inteligente
			Repetidores de señal
		Sistemas de Redes de Telefonía Celular	OBU
			Tarjeta Inteligente
Odómetro / Tacógrafo			

Notas: ALPR: Automatic License Plate Recognition, por sus siglas en inglés, ANPR: Automatic Number Plate Recognition, DSRC: Dedicated Short Range Communications, VPS: Vehicular Positioning Systems, GNSS: Global Navigation Satellite Systems, OBU: On Board Unit.

A pesar de que las tecnologías presentadas en las tablas anteriores se clasifican de manera separada. Con frecuencia se aplican de manera combinada dentro de un mismo esquema de cobro. Tal es el caso de Singapur, que utiliza el sistema DSRC para el reconocimiento de los vehículos y la fiscalización del cobro, unido a un sistema de reconocimiento por video (ANPR o ALPR) para el control de los infractores. Así mismo, Alemania utiliza el GNSS (Sistema Global Satelital) para implementar un cobro por distancia recorrida a los vehículos de carga. En dicho sistema, la utilización de estaciones terrestres con reconocimiento por video permite la regulación de vehículos infractores (FHWA, 2008). En la Tabla 2 se presenta una comparación entre las distintas tecnologías presentadas. Se utilizaron 10 criterios de comparación. Así mismo, la Tabla 3 presenta una breve descripción de las tecnologías presentadas anteriormente.

**Tabla 3. Descripción de las tecnologías disponibles para el cobro por congestión. Fuentes: (FHWA (Federal Highway Administration), 2008); (Palma & Lindsey, 2011); (Steer Davies Gleave, 2009); (The World Bank Group, 2008)**

Tecnologías	Descripción
Sistemas de papel	El usuario compra en puntos de distribución licencias de papel o calcomanías adheribles al parabrisas del vehículo que le permiten ingresar a un área determinada de la ciudad, a un corredor o atravesar un cordón. El control de infractores se realiza con personal en puntos de control al interior de la zona/corredor.
Cobro manual en plazas (tipo peaje)	El cobro se realiza en casetas fijas localizadas en los accesos a corredores o sobre cordones de acceso a una zona. La fiscalización se puede realizar utilizando operarios o sistemas automáticos de reconocimiento de tarjetas electrónicas o inteligentes, entre otras.
Reconocimiento por video /Reconocimiento automático de placas (ALPR or ANPR)	Un conjunto de cámaras instaladas en pórticos sobre la vía, o postes al lado de la vía, junto con dispositivos de iluminación infrarroja o flash intermitente, graba y reconoce, a partir de software especializado, las placas de los vehículos. Los números de placa obtenidos se cruzan con las bases de registro para reconocer el propietario y cargar a éste el cobro. Si las bases están unidas a una cuenta bancaria, la transacción se realiza automáticamente. La fiscalización descrita se puede realizar en un centro de control remoto (back office) o en equipos instalados junto con las cámaras. La información se puede transmitir al centro de control por señal de radio o por fibra óptica. La Fiscalizar con equipos en la vía tiene la ventaja de disminuir el volumen de información que debe ser transmitida al centro de control. Requiere de operarios que verifican el correcto reconocimiento de las placas vehiculares.
DSRC (Infrarrojo/Microondas/RFID) Cobro a Flujo Ininterrumpido usando Transpondedores y Pórticos Transponders and Gantries	Un conjunto de emisores y antenas lectoras de señal infrarroja, microondas o de radio se instalan en pórticos o postes. Estos dispositivos se comunican con una unidad intravehicular que puede ser ligera (Thin-Client), la cual contiene únicamente la información necesaria para la fiscalización (número de placa, propietario, clase de vehículo) o pesada (Thick-Client), ésta última es costosa y permite vincular el vehículo a una cuenta bancaria o utilizar tarjetas inteligentes prepago, entre otros. Usualmente éstos sistemas utilizan cámaras para el control de infractores.
Tecnologías de localización vehicular (VPS ) GNSS: GPS/ GLONASS/GALILEO	Éste tipo de tecnología utiliza los sistemas satelitales, sea el Estadounidense, Europeo o Ruso, para localizar geográficamente los vehículos. Se basa en la instalación de una unidad intravehicular pesada (Thick-Client) que se comunica con éstos, transmitiéndoles su posición y demás datos necesarios. Requiere de puestos terrestres de control a infractores, los cuales pueden incluir unidades de personal móvil al interior de la zona o corredor que se está tarifando, así como sistemas de cámaras en pórticos o postes. Por el efecto de cañón que se presenta en los entornos urbanos, el cual consiste en la reflexión de las señales en objetos altos (edificios), requiere de equipos de repetición de señal para asegurar una correcta transmisión. Así mismo, requiere medidas especiales de protección de la información.
Sistemas de Redes de Telefonía Celular	Esta tecnología también consiste en la localización geográfica de los vehículos. Parte de la utilización de los celulares (o de unidades intra vehiculares que funcionen igual) para comunicarse con las antenas de las redes de telefonía celular y así localizar el vehículo y realizar la fiscalización. Actualmente no se ha implementado ningún cobro por congestión utilizando ésta tecnología. Sin embargo, pilotos realizados en EEUU, entre otros, han arrojado resultados positivos en cuanto a su factibilidad. Requiere de medidas especiales para proteger la información transmitida y de sistemas de cámaras para controlar a los infractores.

**Tabla 4. Comparación de tecnologías respecto a los primeros 5 criterios (Fuente: Varios)**

Tecnologías	Infraestructura e impacto Urbano	Costo	Exactitud	Flexibilidad de cobro de tarifas	Complejidades de operación y administrativas
Sistemas de papel	Alto: Casetas, vallas y puntos de control	Bajo por: Personal contratado, distribución de permisos, casetas.	Alta	Permite discriminar por tipo de vía, vehículo, momento del día, pero no por situación del tráfico. Permite prepago	Falsificación de las licencias. Requiere numerosos puntos de control de infractores.
Cobro manual en plazas (tipo peaje)	Alto: Casetas, vallas y puntos de control	Medio por: Personal, casetas, vallas, carriles adicionales.	Alta	Permite discriminar por tipo de vía, vehículo, momento del día, pero no por situación del tráfico. Permite prepago si se utilizan tarjetas inteligentes	Puede generar congestión adicional al detener el vehículo para el cobro.
Reconocimiento por video /Reconocimiento automático de placas (ALPR or ANPR)	Alto: Pórticos en puntos de cobro y de control a infractores (Éste último depende del esquema de cobro)	Medio por: Infraestructura de pórticos, cámaras, dispositivos de iluminación, operarios, etc. Depende del número de puntos de cobro.	Media: Fallas de lectura entre 10 y 30%	Permite discriminar por tipo de vía, vehículo y momento del día. Es costoso cambiar de esquema y no se recomienda para aplicación de cobros por distancia recorrida debido a las fallas de exactitud. Depende de la calidad de información en los registros de placa. Permite pago por cuenta bancaria	Las fallas de lectura implican la utilización de verificadores manuales. Depende de condiciones climáticas y de iluminación. Depende de buena fiscalización de los registros vehiculares. Depende de cultura de evasión (modificaciones ilegales de placas, etc.)
DSRC (Infrarrojo/Microondas/RFID) Cobro a Flujo Ininterrumpido usando Transpondedores y Pórticos Transponders and Gantries	Alto: Pórticos en puntos de cobro y de control a infractores (Éste último depende del esquema de cobro)	Medio-Alto por: Infraestructura de pórticos, OBU, cámaras, antenas, etc. Depende del número de puntos de cobro y control.	Alta: Fallas de lectura alrededor de 0.002%	Permite diferenciar por tipo de vehículo y momento del día. Permite prepago y a través de cuenta bancaria. La expansión del sistema a nuevos puntos es costosa, por lo que esquemas de cobro por distancia, aunque exactos, resultarían costosos.	Dependiendo del tipo de señal utilizada (Infrarrojo, Microondas, radio) puede sufrir de interferencia por luz solar, clima, u otras señales de radio frecuencia.
Tecnologías de localización vehicular (VPS ) GNSS: GPS/ GLONASS/GALILEO	Menor: Sólo requiere pórticos o postes con cámaras en puntos de control	Alto costo por: OBU, repetidores de señal, seguridad de información, puntos de control de infractores	Alta	Permite discriminar por tipo de vehículo, ubicación, momento del día. Junto con otras tecnologías incluso por ocupación vehicular, la expansión del sistema es relativamente económica. Permite prepago y pago por cuenta bancaria. En la actualidad se utiliza para cobros por distancia recorrida.	Efecto cañon: Dificultades en recibir señales dentro de entornos urbanos por reflexión de estructuras altas, interferencias de puentes, pérdida de señal en túneles, entre otros. Requiere sistemas de protección a la privacidad y de la información.
Sistemas de Redes de Telefonía Celular	Mínimo: Los equipos de calle consisten en transceptores como los que ya utiliza la red de telefonía celular	Medio Alto: Transceptores, unidades vehiculares, cámaras para control de infractores. Depende de número de puestos de control	Alta	Permite discriminar por tipo de vehículo, ubicación y momento del día. Permite prepago o pago por cuenta bancaria	Posibles interferencias con otras radiofrecuencias, aunque es mínima. Saturación de la red si no hay suficiente densidad de transceptores.

**Tabla 5. Comparación de tecnologías respecto a los últimos 5 criterios (Fuente: Varios)**

Tecnologías	Usuarios Infrecuentes	Cumplimiento del Pago y Seguimiento de infractores	Mantenimiento y Vida Útil	Aceptación	Interoperabilidad
Sistemas de papel	Utilizan el mismo sistema que los otros usuarios	Requiere puestos móviles (policivos) de control a infractores	Larga duración, mantenimiento relacionado con los canales de distribución de licencias e infraestructura (casetas y vallas) utilizadas para el control	Altamente visible y legible, por lo que es históricamente aceptado	Puede presentar problemas con otros esquemas (regionales, municipales, nacionales) y sistemas si no se establecen estándares
Cobro manual en plazas (tipo peaje)	Utilizan el mismo sistema que los otros usuarios	No requiere infraestructura adicional para el control de infractores	Larga duración, mantenimiento relacionado con la infraestructura (casetas y vallas) utilizadas para el cobro.	Altamente visible y legible, por lo que es históricamente aceptado	Puede presentar problemas con otros esquemas (regionales, municipales, nacionales) y sistemas si no se establecen estándares
Reconocimiento por video /Reconocimiento automático de placas (ALPR or ANPR)	Utilizan el mismo sistema que los otros usuarios	No requiere infraestructura adicional para el control de infractores ya que el mismo sistema de video los reconoce	Requiere limpieza periódica de cámaras para asegurar calidad de imágenes. Requiere de dispositivos de iluminación que duran entre 2 y 5 años	Dependiendo del tipo de información manejada, puede tener implicaciones en la privacidad. Sin embargo, puesto que son puntos específicos, no tiende a tener fuertes oposiciones	Normalmente opera en conjunto con otras tecnologías: VPS, DSRC, Redes Celulares.
DSRC (Infrarrojo/Microondas/RFID) Cobro a Flujo Ininterrumpido usando Transpondedores y Pórticos Transponders and Gantries	Requiere utilización de cámaras adicionales para reconocimiento	Requiere de la utilización de cámaras en distintos puntos para control de infractores	La infraestructura es susceptible a vandalismo e impactos. Las unidades intra vehiculares (OBU) tienen una vida útil de alrededor 5 años	Sin dificultades de aceptación en las experiencias internacionales	Puede operar con otras tecnologías, tales como ANPR o ALPR, GPS y Redes Celulares. Sin embargo, requiere el establecimiento de estándares con otros esquemas DSRC para evitar problemas de legibilidad
Tecnologías de localización vehicular (VPS ) GNSS: GPS/ GLONASS/GALILEO	Requiere utilización de cámaras adicionales para reconocimiento	Requiere unidades fijas y móviles en tierra de control a infractores. Dependiendo del esquema de cobro, requiere más unidades	Las unidades intravehiculares tienen una vida útil de alrededor de 5 años. El mantenimiento está relacionado a los repetidores de señal y cámaras de control de infractores.	Dificultades de aceptación pública por cuestiones de privacidad.	Requiere de tecnologías complementarias tales como ANPR o ALPR y DSRC- Su expansión a otros servicios y propósitos (seguridad, cobros ambientales, etc.) es costo efectiva
Sistemas de Redes de Telefonía Celular	Requiere utilización de cámaras adicionales para reconocimiento	Requiere unidades fijas y móviles en tierra de control a infractores, pero menos que las demás tecnologías	Requiere mantenimiento de los transeptores y unidades intravehiculares. Éstas últimas son más sencillas que las requeridas por VPS, por lo que son menos costosas	Puesto que la red de telefonía celular ya tiene un uso generalizado, no es de esperar que tenga inconvenientes de aceptación pública un cobro por congestión con ésta tecnología	Su interoperabilidad puede ser menos sencilla que otras tecnologías. Sin embargo, permite expansión a otros servicios y propósitos (Seguridad, cobros ambientales, etc.)

**Por sus siglas en inglés: ALPR: AUTOMATIC LICENSE PLATE RECOGNITION; ANPR: AUTOMATIC NUMBER PLATE RECOGNITION; DSRC: DEDICATED SHORT RANGE COMMUNICATION; RFID: RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION; VPS: VEHICLE POSITIONING SYSTEM; GNSS: GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS; OBU: ON BOARD UNIT (INSIDE VEHICLE).**

Como se mencionó anteriormente, dentro de las tecnologías basadas en infraestructura de pórticos y postes, existen sistemas de escaneo por láser, ultrasonidos o conteos mediante circuitos de radiofrecuencias. Estos tres tipos de tecnologías se comparan a continuación:

**Tabla 6 Comparación de 3 tecnologías para reconocimiento automático de vehículos en movimiento (Fuente: CPG Consultants, 2012)**

	<b>Video</b>	<b>Círculo de Radio Frecuencias</b>	<b>Ultrasonido</b>	<b>Escáner de Laser</b>
<b>Desempeño</b>	Medio	Bajo	Medio	Alto
<b>Precio</b>	Medio	Bajo	Alto	Alto
<b>Costo Operación y Mantenimiento</b>	Alto	Alto	Medio	Bajo

Las tablas anteriores muestran que cada tecnología tiene ventajas y desventajas específicas. Por ello, dependiendo de los contextos económicos, políticos y sociales, así como de los propósitos perseguidos (Iseki et. Al, 2010), la tecnología a escoger deberá ser distinta. Como ejemplo de lo anterior, en Santiago de Chile existe una fiscalización de placas y registros automovilísticos débil. Por esto, la aplicación de una tecnología tipo ANPR o ALPR presentaría mayores niveles de falla en el reconocimiento de vehículos y en la fiscalización (Steer Davies Gleave, 2009).

Así mismo, vale la pena mencionar que las tecnologías de red celular aún no se han implementado en esquemas de cobro por congestión. Se han realizado pilotos para evaluar ésta tecnología en éste tipo de aplicación en Maryland y California, de los Estados Unidos, y en Newcastle y Londres, del Reino Unido (FHWA, 2008). Las pruebas han arrojado resultados positivos que establecen la viabilidad de la aplicación de redes celulares a los cobros por congestión.

En lo que se refiere a los sistemas satelitales (VPS o GNSS, por sus siglas en inglés), en la actualidad los costos de las unidades intra-vehiculares requeridas (OBU) son prohibitivos para implementaciones de escala zonal (urbana). Así mismo, las tecnologías de soporte necesarias (repetidores de señal, mapas de información geográfica, protección de privacidad, entre otros) para viabilizar su desempeño en los contextos urbanos, escalan aún más sus costos. Por ésta razón, las implementaciones existentes (Suiza, Alemania, entre otros) se enfocan en cargos por distancia recorrida a vehículos de carga en escala regional. Puesto que los cargos impuestos a dichos vehículos son altos, y en la escala regional recorren grandes distancias, los ingresos obtenidos con éste esquema justifican la inversión. Por su capacidad de determinar las distancias recorridas por cada vehículo, tienen alto potencial para reemplazar los impuestos sobre la gasolina. Esto, como en el caso del modelo Alemán, puede mejorar la aceptabilidad de este esquema. (Palma. A & Lindsey. R, 2011).

<b>CUADRO 3. SISTEMAS ELECTRÓNICOS EN TIERRA (ANPR/ALPR) VS. SISTEMAS SATELITALES (VPS O GNSS)</b>	
<b>ANPR /ALPR</b>	<b>VPS O GNSS</b>
*Costo efectivo a escala zonal.	*Costo efectivo a escala regional.
*Poco práctico para determinación de distancias de recorrido.	*Capaz de determinar distancias de recorrido. Potencial de reemplazar impuestos sobre la gasolina
*Actualmente utilizado para cobro por congestión (C.O)	*Actualmente utilizado para cargos por distancia recorrida a vehículos de carga
*Legible y mejor aceptado públicamente para C.O.	*Poco legible y menos aceptado públicamente para C.O.

A largo plazo con la introducción de nuevas tecnologías complementarias a los VPS, tales como el DSRC 5.9 G-Hz, WiFi (Wireless Fidelity) y WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) y teniendo en cuenta sus ventajas en cuanto a versatilidad y generación de servicios de valor agregado, facilidad de cubrimiento de redes viales a escala regional, interoperabilidad, economías de escala y, el ya mencionado potencial de reemplazo de impuestos a la gasolina; se espera que el uso de esta tecnología (VPS o GNSS) se expanda y pueda llegar a convertirse en una opción atractiva para implementar cobros por congestión (Palma. A & Lindsey. R, 2011).

**CUADRO 4. TECNOLOGÍAS COMPLEMENTARIAS AL COBRO**

- Influenciar viajeros en ruta (Letreros y señales de tránsito dinámicas)
- Influenciar viajeros antes del viaje (información de tránsito por la web, red telefónica o en servicios especializados)
- Influenciar comportamiento personal (Servicios de información de tránsito al intra vehicular, campañas de educación, teletrabajo)
- Control del flujo de tráfico: Límites de velocidad variables, control centralizado y dinámico de semaforización y señalización, manejo integral de corredores y carriles.

**Fuente: (FHWA, 2008)**

Por último, es válido mencionar que en los sistemas implementados en diferentes ciudades del mundo se presentan excepciones de cobro por diferentes motivos. En primera instancia los vehículos de atención de emergencias no son cargados por razones de seguridad, la exención del cobro a otros tipos de vehículos (como: vehículos oficiales, taxis, buses o motos) se presenta en ciertos casos aludiendo a razones diferentes. Sin embargo, teóricamente, la exención de cualquier tipo de vehículo en el cobro por congestión representa una pérdida de eficiencia en el esquema, puesto que el vehículo no está internalizando costos externos, pero si está generándolos a los demás; estrictamente hablando, sin importar qué tipo de vehículo utilice, todos los usuarios de la vía congestionan en cierta medida. Existen tecnologías complementarias que pueden ayudar a mejorar la eficiencia del cobro, aún después de establecer excepciones.

**IMPACTOS DEL PEAJE DE CONGESTIÓN**

Un sistema de cobro por congestión tiene impactos tanto positivos como negativos en la calidad de vida de los individuos, en la zona intervenida y en la ciudad en general. Estos impactos estan ligados directamente con la inclusión o no de medidas complementarias, que mitiguen los impactos negativos de los peajes por congestión e intensifiquen los impactos positivos que los mismos pueden generar a la sociedad. En la Tabla 7 se presentan los posibles impactos de un peaje de congestión, en el caso que solo se imponga el sistema de cobro sin considerar ni tomar medidas sobre los efectos que el mismo puede generar en la ciudad y sus individuos.

**Tabla 7. Impactos positivos y negativos de un peaje de congestión implementado sin medidas complementarias**

	<b>IMPACTOS POSITIVOS</b>	<b>IMPACTOS NEGATIVOS</b>
<b>BIENESTAR</b>	Incremento de la salud física y mental por el uso de modos no motorizados	Reducción de la comodidad de los usuarios regulares del transporte público

	IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
	Mejora de la salud mental de usuarios del automóvil por reducción de la congestión	Incomodidad generada a usuarios del vehículo privado que evitan atravesar la zona de cobro lo que resulta en distancias de viaje más largas.
	Disfrute del espacio público	
EQUIDAD	Los usuarios del vehículo privado en la zona de cobro interiorizan el costo que generan a la sociedad	Los usuarios de vehículo privado que no tienen la capacidad económica de pagar el peaje de congestión se ven obligados a cambiar sus hábitos de viaje, mientras que aquellos con más poder adquisitivo tienen la opción de no hacerlo.
	Los usuarios de buses regulares se ven beneficiados por el alcance de una velocidad más constante en las vías de la zona. Lo que puede significar una reducción importante en la velocidad de viaje en algunos casos	
AMBIENTE	Reducción de niveles de ruido en la zona de cobro	Incremento de niveles de ruido en el borde de la zona de cobro y en otras zonas de la ciudad
	Reducción en emisiones de CO2 en la zona de cobro.	Incremento de emisiones en el borde de la zona de cobro y en otras zonas de la ciudad
CONFIABILIDAD	Aumento de la confiabilidad de los tiempos de viaje en vehículos del transporte público y vehículos privados debido a la reducción de la congestión en la zona de cobro.	Presión en la capacidad del transporte público por la cantidad de pasajeros nuevos generados por el cobro. Esto generaría aumento en los tiempos de ingreso, espera y egreso a los sistemas de transporte público haciéndolos menos confiable.
		La confiabilidad en los tiempos de viaje de usuarios del vehículo privado se vería afectada en el borde de la zona de cobro y otras zonas de la ciudad a donde se desplazasen los vehículos
ACCIDENTALIDAD	Al reducir el volumen vehicular en la zona se reduce la probabilidad de accidentes.	Al aumentar la velocidad de los vehículos particulares se incrementa la accidentalidad
INFRAESTRUCTURA	El uso más eficiente de la infraestructura destinada al uso del vehículo privado trae reducciones en costos de mantenimiento.	Se va a generar presión sobre la infraestructura existente para modos no motorizados y transporte público
PATRONES DE VIAJE	Cambio de modo del transporte privado hacia transporte público y modos no motorizados.	El costo del ingreso a la zona puede hacerla menos atractiva reduciendo la necesidad de visitarla y generando un cambio de destino de los viajes realizados por usuarios de vehículo privado. Esto se puede reflejar en un impacto en la actividad



	IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
	Reducción de viajes en horas pico generada por un cambio de horario de viajes realizados en vehículo privado para pagar un costo menor por entrar a la zona (Solo aplica si hay tarifas diferenciadas por hora)	económica de la zona
	Cumplir varios propósitos en un solo viaje para evitar realizar múltiples viajes a la zona	El cobro en la zona puede inducir un cambio de ruta de los usuarios del vehículo privado agravando los problemas de borde.

Considerar desde el inicio del proceso de planeación de un sistema de cobro por congestión sus impactos positivos y negativos es fundamental. Considerando lo anterior, en vez de un proyecto aislado se debe estructurar una estrategia integral que incluya acciones sobre los diversos modos de transporte, para adaptarlos a la nueva situación. Es por lo tanto importante mencionar que en la implementación de un sistema de cobro se hace necesario un conjunto pre-requisitos adicionales que permitan mitigar los impactos negativos de la medida e impulsar sus impactos positivos (Ver CUADRO 3) en la búsqueda de una buena calidad de servicio del sistema de transporte y un desarrollo sostenible de ciudad.

#### CUADRO 5. PRE-REQUISITOS ADICIONALES

- Sistema de transporte público con capacidad, confiabilidad y comodidad suficiente en estaciones y buses para abastecer la demanda actual y la generada por el cobro.
- Diseño e implementación de esquemas de gestión de tráfico en el área de cobro y en su alrededor.
- Proveer una infraestructura para peatones y ciclistas que sea accesible, directa, conectada, continua, atractiva, cómoda y que garantice la seguridad física y personal del usuario.
- Mejora del entorno urbano considerando los espacios educadores y promoviendo la seguridad vial de la población
- Generar una cultura ciudadana que induzca una movilidad sostenible y promueva comportamientos seguros
- Información a los ciudadanos sobre el sistema de cobro y las alternativas de movilidad ofrecidas.

## EXPERIENCIAS INTERNACIONALES

### LONDRES

Desde el año 2003, la ciudad de Londres cuenta con un cobro por congestión en su zona centro (ver Figura 9 ). El esquema londinense se basa en un área de cobro delimitada y controlada por un cordón de 21 km<sup>2</sup> y reforzada por un sistema de cámaras (ALPR). El cobro es aplicado de Lunes a Viernes desde las 7am-6:00pm por ingresar al área tarifada. El valor por día en el año 2003 era de £5 y actualmente es de £10 con un desincentivo de pago doble después de las 10pm. La multa por no pagar es de £120 con una reducción a £60 si pagan en los primeros 14 días. Las excepciones de pago son hechas para las personas discapacitadas, motos, vehículos de NHS, otros vehículos (registrados), buses, vehículos de emergencia y personas de bajos ingresos. Es importante notar que antes de implementar el programa se aumentó el servicio de buses, se redujo el costo de los viajes en el transporte público, se mejoraron las conexiones entre buses y trenes y se invirtió en información de horarios de buses.



Figura 8. Área de cobro por congestión en Londres

Fuente: Transport for London

El cuadro presentado a continuación presenta a grandes rasgos el contexto existente en la ciudad de Londres en los años inmediatamente anteriores a la implementación del cobo por congestión.

#### Contexto de la Ciudad de Londres antes de la Implementación del Cobro. Fuente: (Transport For London Website, 2012))

- Londres era la ciudad más congestionada del Reino Unido y entre las peores de Europa
- Los conductores gastaban hasta el 50% de su tiempo en trancones y se estima una pérdida de productividad de los negocios avaluada en 2-4 millones de Libras semanales.
- En 1999 el gobierno nacional aprueba reformas legislativas que otorgan al alcalde poderes para administrar el sistema de transporte de la ciudad e incrementar impuestos para financiar mejoras a dicho sistema
- En el 2000 Ken Livingstone es elegido alcalde. Su plataforma política incluía la implementación de cargos por congestión, a partir de los cuales se podría financiar mejoras al transporte público

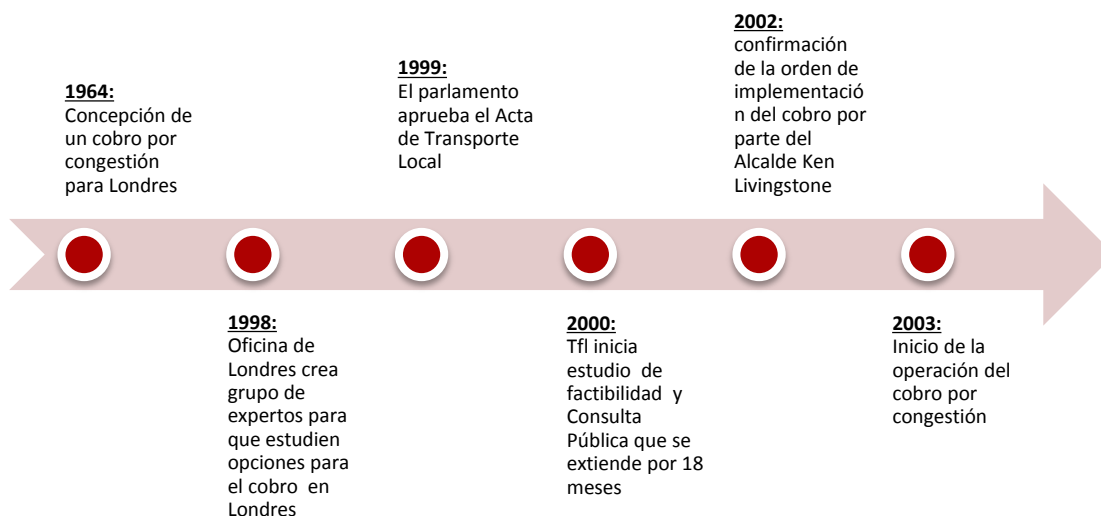
Los objetivos del proyecto de 100 millones de libras anuales eran de reducir el tráfico en el centro de la ciudad, reducir las demoras en las vías, aumentar la velocidad dentro de la zona en un 10-15%, mejorar las condiciones fuera de la zona de congestión, mejorar las operaciones de buses y alcanzar un cambio modal. En la actualidad, 9 años después de su implementación, el tráfico bajó un 27% y se ha mantenido constante, lo que representa una reducción de 80,000 vehículos diarios. Esto ha proporcionado mejoras del aire puro y un incremento del uso de la bicicleta en un 66% y un 45% en el uso del transporte público.

La concepción e implementación del cobro por congestión en Londres comprende un horizonte de tiempo de casi 40 años. Inicialmente se evitó su implementación debido a problemas con el control del cobro y el temor a los posibles efectos adversos del cobro por congestión. La aprobación del Acta Local de Transporte por parte del parlamento en 1999, la cual introdujo a la legislación el concepto de tarifas viales, manifestó el apoyo político a la implementación de un cobro y otorgó poderes al Alcalde para implementarlo, junto con el ascenso de Ken Livingstone a la Alcaldía en el año 2000, representó un punto de inflexión en el proceso de implementación de un cobro por congestión para Londres. El siguiente cuadro resume los elementos principales que facilitaron el éxito de la implementación del cobro por congestión en esta ciudad. Constituyen una serie de lecciones aprendidas que pueden ser valiosas para otras ciudades a la hora de concebir e implementar un cobro por congestión.

**Elementos Facilitadores en la Implementación Cobro por Congestión de Londres. Fuente: (Dix, 2002)**

- Concepción del esquema de cobro apoyada en varios estudios e investigaciones
- El Acta de Transporte Local manifestó la voluntad política y empoderó al Alcalde para implementar el cargo por congestión.
- El Cargo por congestión fue presentado como parte de una estrategia urbana más amplia (fortalecimiento de transporte público, entre otros).
- Fuerte apoyo político.
- Se contó con una propuesta de esquema de cobro altamente elaborada.
- Instalación de un equipo dedicado y comprometido con la implementación y operación del cargo por congestión.
- Inclusión de un proceso amplio (18 meses) de participación pública dentro de la definición del esquema.
- El esquema implementado incluyó el fortalecimiento (previo y paralelo) del transporte público, utilizando el dinero recaudado por el cobro por congestión.

Por último, la Figura 10 presenta la cronología de los eventos principales desde la concepción a la implementación del cobro por congestión en Londres.



**Figura 10. Cronología de la concepción e implementación del Cobro por Congestión en Londres. Fuente: (Dix, 2002)**

## EDIMBURGO

En Edimburgo, Escocia, se presentó una iniciativa de implementación de peajes por congestión. El esquema propuesto presentaba variantes al caso de Londres en términos de política integral y tipo de esquema de tarificación.

El esquema propuesto estaba compuesto por un doble cordón concéntrico alrededor del centro financiero de la ciudad (Ver Figura 11). El sistema consideraba una tarifa de £2,0 (COP\$ 5,600) que se pagaría de manera diaria y funcionaría de 7AM a 7PM. Inicialmente se esperaba que se iniciara su operación desde el año 2006.

En este caso se consideraron ciertas excepciones de cobro para vehículos de emergencia, vehículos de incapacitados, motocicletas, buses, taxis y grúas. Debido a la estructura de los cordones los residentes que se movían dentro de la zona no se veían afectados por el cobro.



Figura 11. Zonas de cobro por congestión propuestas para Edimburgo

Fuente: City of Edinburgh Council

La implementación de éste sistema estaba ligada a ciertas medidas complementarias como mejoras en transporte público, estacionamientos Park and Ride, medidas de mitigación de impactos negativos a la zona con cobro. Todas estas medidas tenían un costo cercano a los £770 millones, compartido entre Edimburgo y las autoridades locales vecinas.

En Octubre de 2005 se llevó a cabo un plebiscito para apoyar o rechazar la el cobro por congestión como se planteaba en la estrategia de transportes de la ciudad. El resultado fue negativo pues un 74% rechazó la medida, lo que representó impacto negativo en la estrategia de transporte de la ciudad y las municipalidades vecinas. "Análisis preliminares del resultado del referéndum apuntan a diversas causas para el rechazo, entre las cuales destacan 3:

- *A la gente le disgustaba la idea de pagar por algo que actualmente pueden utilizar gratis, y una votación de este tipo (referéndum) tiende a mostrar esto.*
- *Algunos políticos apoyaron el argumento de rechazo local, a pesar de apoyar la idea de ratificar nacionalmente la idea de cobrar por congestión.*
- *En tercer lugar, los límites administrativos estaban muy cercanos, permitiendo que autoridades de localidades vecinas participaran activamente en el rechazo a la medida." (Steer Davies Gleave, 2009)*

La siguiente Figura presenta la cronología de la implementación del cobro por congestión en Edimburgo

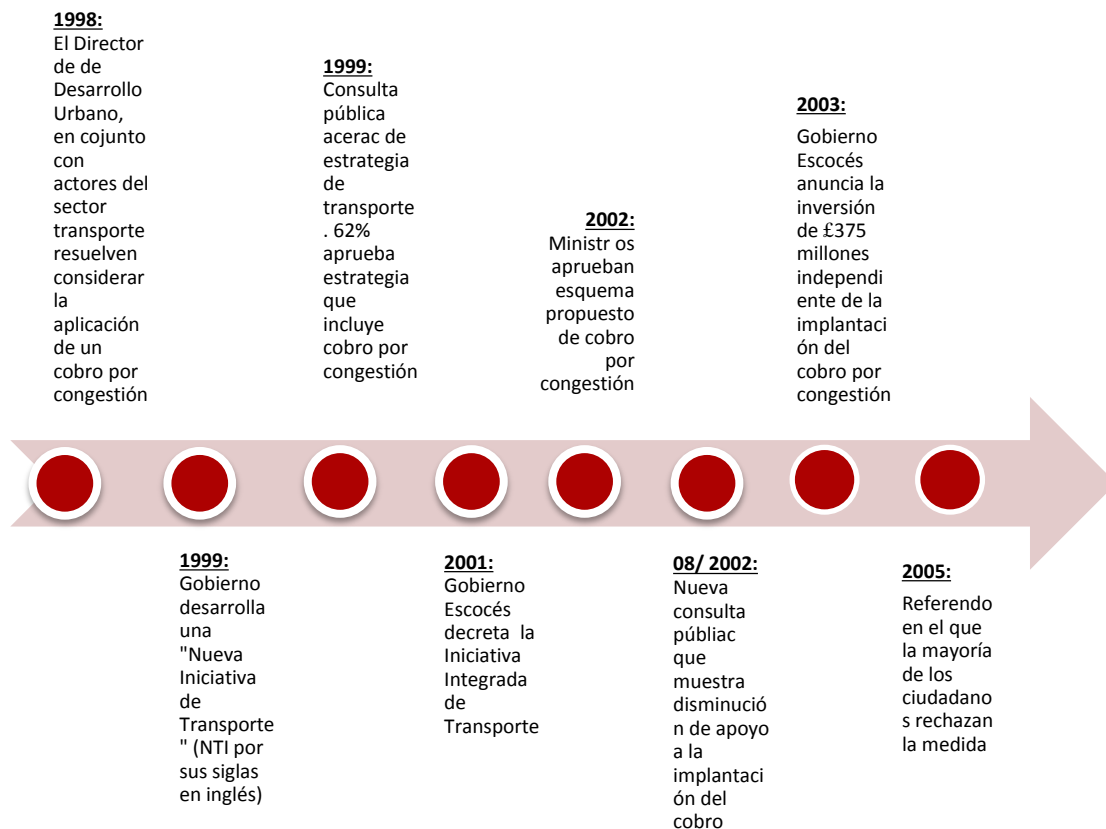


Figura 12. Cronología de la concepción y consulta del Cobro por Congestión en Edimburgo. Fuente:(Saunders , 2005)

## ESTOCOLMO

En Enero del año 2006, en la ciudad de Estocolmo, se implementó un esquema de cobro por congestión a manera de prueba durante seis meses. En el transcurso del periodo de prueba hubo un extensivo programa de monitoreo y evaluación que evidenció reducciones importantes del volumen vehicular, de la congestión y de la variabilidad en los tiempos de viaje. Así mismo, se realizó un seguimiento a la opinión pública, la cual evolucionó de una oposición general a una mayoría que estaba a favor de la implementación del sistema de cobro por congestión. Una vez finalizado el periodo de prueba se empezó un referendo en la ciudad de Estocolmo y en gran parte de sus municipios vecinos. El referendo en la ciudad de Estocolmo resultó en un apoyo de la mayoría de la población para la implementación del esquema de cargo por congestión, contrario al resultado general en el resto de los municipios. Terminado el proceso de referendo el sistema de cobro por congestión fue reintroducido en Estocolmo en Agosto del 2007.

El sistema implementado en Estocolmo, que actualmente continua en operación, consiste en un peaje de cordón localizado alrededor del centro de la ciudad. El cobro solo se realiza en días hábiles durante el periodo horario comprendido entre las 6:30AM y las 6:30PM, exceptuando los días hábiles del mes de Julio en los que no se realiza cobro alguno. El costo del peaje por atravesar el cordón durante el periodo pico de la mañana y el de la tarde (7:30-8:30, 16:00-17:30) es de 20 SEK (COP\$ 5,640), durante los treinta minutos anteriores y posteriores a estos periodos pico el costo es 15 SEK (COP\$ 4,230) y durante el resto del periodo de cobro el costo es de 10 SEK (COP\$ 2,820). El peaje se cobra en dos direcciones, es decir, se cobra al

ingresar al centro y al salir al centro de la ciudad. El cargo se realiza tantas veces como un vehículo atraviese el cordón hasta un máximo de (COP\$ 16,920).

Desde la estructuración del esquema de cobro por congestión se definió como objetivo principal una mejora de la movilidad y el ambiente de la ciudad. Estos objetivos se lograron y han permanecido a través del tiempo. Según el estudio realizado por Börjesson et al, durante el periodo de prueba se logró una disminución del volumen vehicular del 28% respecto al año 2005 (año de referencia). Una vez finalizó el periodo de prueba y se quitó el peaje por congestión el volumen vehicular aumentó inmediatamente, sin embargo, el tráfico vehicular permaneció entre 5-10% por debajo que el del 2005, evidenciando que los efectos del periodo de prueba permanecieron aún sin la existencia del cobro, esto debido a nuevos hábitos de desplazamiento inducidos por el peaje de congestión temporal (Börjesson et al, 2012). Cuando se reintrodujo el sistema de cobro por congestión en Estocolmo, en Agosto de 2007, hubo una reducción del 21% del total de viajes en las horas de cobro con respecto al 2005 (Börjesson et al, 2012). Entre 2008 y 2009 la reducción fue de 18% respecto al 2005, en 2010 de 19% y en el 2011 de 20% (Börjesson et al, 2012). Los ligeros cambios en la reducción del volumen vehicular de año a año no necesariamente significan que los efectos del cobro se atenúen con el tiempo, pues es necesario considerar que efectos externos como el crecimiento de la población y la nueva oferta de empleo que afectan directamente el volumen vehicular de la ciudad y de la zona de cobro. Así mismo, otros factores como la inflación que ha reducido el cobro aproximadamente en 2% por año y la deducción del cobro introducida en 2007, para cierto tipo de viaje y vehículos, han cambiado el valor del cobro por congestión en términos reales a través del tiempo y esto ha influenciado el volumen vehicular en la zona de cobro (Börjesson et al, 2012).

## CONGESTIÓN EN CIUDADES COLOMBIANAS

En el presente capítulo se desarrolla un análisis de la situación de congestión actual en dos ciudades colombianas, Bogotá y Cali. Por medio de este análisis se evidencian las principales causas de la congestión en cada una de las ciudades y acto seguido se evalúa un esquema de cobro por congestión como solución.

Es de mencionar que el presente es un ejercicio académico que pretende ilustrar las diferencias entre las causas de la congestión en las dos ciudades, las implicaciones de los diferentes objetivos asociados al cobro y el efecto del tamaño de las zonas en los resultados de la medida. Por lo tanto, es importante resaltar que para el desarrollo de los estudios de caso se utilizaron diversas simplificaciones que pueden alejar los resultados de la realidad, dejando fuera del alcance la realización de una evaluación económica de diversas alternativas que permitan evidenciar si un peaje de congestión es la mejor solución al problema de congestión actual, sin embargo es relevante considerar que esta evaluación se realice por medio de estudios más detallados del tema.

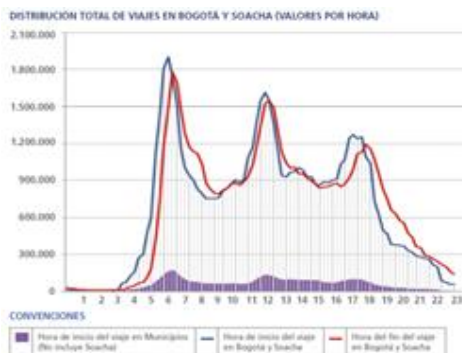
### ESTUDIO DE CASO: BOGOTÁ

Bogotá, la capital de Colombia, es el principal centro de desarrollo urbano, político, económico, social, cultural e industrial del país, se caracteriza por ser una de las metrópolis más importantes de América Latina y por su dominio significativo en la economía del país, teniendo en cuenta que la producción económica de

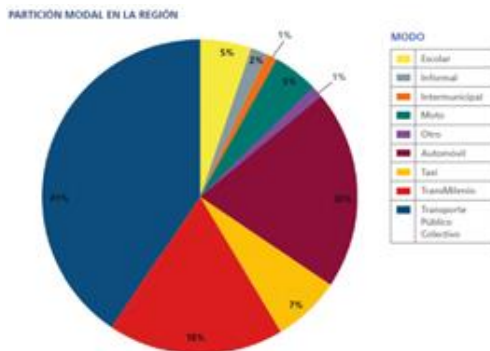
la región representa casi el 29% del PIB y el PIB per cápita es alrededor del 50% más alto que el de la nación en general. Su población es de 7.3 millones de habitantes (SDP, 2010) con una densidad poblacional de aproximadamente 20.500 habitantes por kilómetro cuadrado.

En la ciudad de Bogotá se realizan 17,5 millones de viajes (SDG, 2012) en un día hábil típico. La distribución temporal de estos viajes se caracteriza por unos picos marcados en horas de la mañana, al medio día y en la tarde (Ver Figura 13). La máxima demanda se presenta en el periodo pico de la mañana, en el cual se logran realizar más de 1,8 millones de viajes en una hora.

En lo que respecta a la partición modal de los viajes motorizados, en la Figura 14 se observa que aproximadamente el 60% de los viajes se realizan en transporte público, porcentaje del cual el 41% corresponde al transporte público colectivo (TPC) y un 18% al sistema de transporte masivo rápido en buses *TransMilenio*. Los automóviles mueven cerca de 20% de los viajes seguido por los taxis con un 7% y finalmente las motos con 5%. Al observar el comportamiento por estrato socioeconómico se evidencia que el transporte público es usado más en los estratos bajos, para los



**Figura 13** Distribución total de viajes en Bogotá  
**Fuente:** Encuesta de Movilidad de Bogotá 2011. SDG

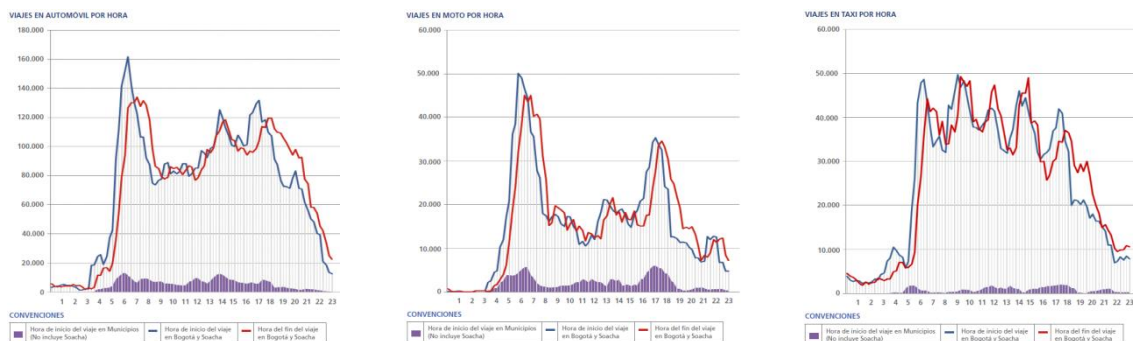


**Figura 14** Partición modal de los viajes motorizados  
**Fuente:** Encuesta de Movilidad de Bogotá de 2011. SDG

cuales este modo de transporte captura más del 60% de los viajes. Por el contrario, en los estratos altos el modo más utilizado es el automóvil, seguido por el taxi. Así mismo, existen diferencias importantes en las tasas de viajes motorizados entre los diferentes grupos sociales de la ciudad, que para los estratos bajos (1, 2 y 3) no supera 1.5 viajes motorizados al día, mientras que en los estratos altos está cercano o por encima de 2.

En cuanto a los costos de movilización, el porcentaje del ingreso empleado para transporte en estratos bajos está entre el 12-15% mientras que para estrato altos está entre 7.5-9.3%. A nivel de comparación se tiene que con los mismos recursos que una persona de estrato alto realiza un viaje, una persona de estrato bajo podría completar hasta 4 viajes. (CCB, 2010)

Según los datos de la Encuesta de Movilidad de 2011 se puede analizar el comportamiento de los modos automóvil privado, taxi y moto en un día típico hábil (Figura 15). En primer lugar, para el automóvil la hora pico de la mañana alcanza más de 160.000 viajes y en total se producen 1,8 millones de viajes en el día en este modo. Con respecto a las motos, se presenta un mayor número de viajes en las horas de la mañana, alcanzando más de 50.000 viajes en la hora pico. En total se tienen 411.095 viajes en un día hábil típico del 2011. Y finalmente, para los taxis se obtiene un comportamiento más uniforme a lo largo del día, oscilando cerca de los 50.000 viajes por hora. El número total de viajes en taxi en un día típico fue de 618.234.



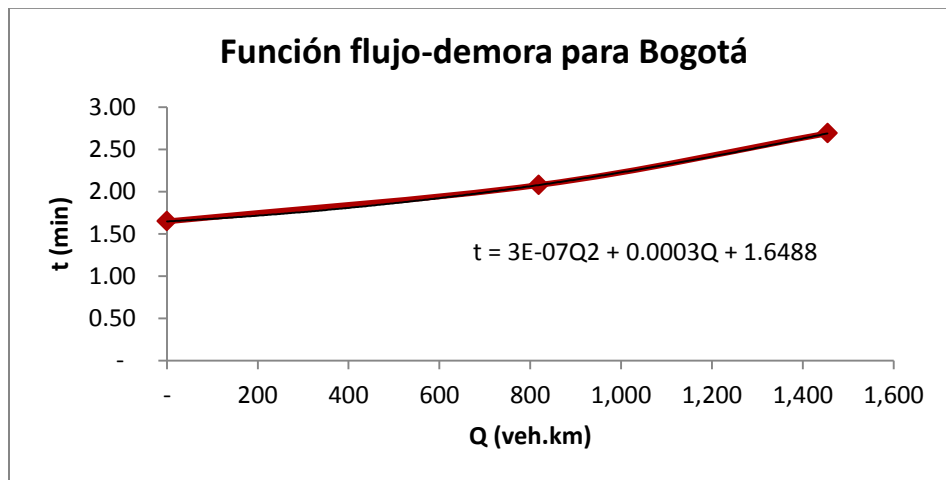
**Figura 15 Distribución de viajes para automóvil, moto y taxi**  
**Fuente: Encuesta de Movilidad de Bogotá 2011. SDG**

En la actualidad, el tiempo promedio de viaje en un día hábil en medio motorizado oscila entre 40 y 77 minutos y aumenta de manera significativa a medida que el estrato socioeconómico de la vivienda del viajero disminuye. La diferencia entre el tiempo promedio de viaje es mayor a media hora entre el estrato 1 y el 6, lo que evidencia una marcada diferencia en la movilidad de los diferentes grupos socioeconómicos, atribuida principalmente a factores relacionados con la infraestructura y oferta de servicios de transporte, una actividad económica concentrada en el centro expandido de la ciudad y una localización de la vivienda de estratos bajos en la periferia.

A partir del modelo macroscópico de tráfico de Bogotá 2008, desarrollado por el grupo de estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR) de la Universidad de los Andes, fue posible caracterizar de manera general la circulación del transporte privado tipo automóvil y el taxi en la ciudad. Para estos modos de transporte, **en una situación con Pico y Placa**, se estimó una velocidad a flujo libre ( $V_0$ ) de 36 km/h, una velocidad a congestión ( $V_{cur}$ ) de 23 km/h y un total de kilómetros recorridos de 1'455,000. A partir de estos datos fue posible estimar una función flujo-demora para la ciudad (ver Figura 16) en la cual se observa que



cada vehículo adicional causa un impacto a todos aquellos que circulan por la vía lo que se refleja en mayores tiempos de viaje.



**Figura 16 Función flujo demora para Bogotá**

**Fuente:** Elaboración propia a partir del modelo macroscópico de tráfico de Bogotá. Universidad de los Andes 2008

Es de mencionar que en los últimos años se ha evidenciado en la ciudad un aumento en los tiempos de viaje del transporte público colectivo, el transporte privado y el taxi, debido a un incremento del nivel de congestión que ha disminuido de manera importante la confiabilidad del tiempo de viaje para estos modos de transporte en la ciudad. Este aumento en la congestión, se atribuye en gran parte a un aumento acelerado del parque automotor de la ciudad y al retraso de la expansión de la malla vial que ha evitado una mejora en la conectividad del sistema de transporte y una reducción de la infraestructura informal y de mala calidad, sin embargo, esta situación no es consecuencia exclusiva del número de vehículos ni del espacio vial, sino que es necesario considerar otros problemas que contribuyen a empeorar la situación de la congestión en la ciudad.

Dentro de estos se encuentra una malla vial en mal estado y con capacidad limitada, un estancamiento de la tecnología de gestión del sistema de tráfico reflejado principalmente en un sistema semafórico descoordinado, una ausencia de control que resulta en parqueo ilegal en vía e invasión del espacio público, una infraestructura para el transporte público insuficiente y una ausencia de cultura de movilidad que resulta en buses, busetas y colectivos estacionando en cualquier lugar de la ciudad para dejar y recoger pasajeros. Por otro lado, es causa de la congestión una sobrecarga al sistema vial generado por la concentración de la actividad económica en el centro expandido de la ciudad, un conflicto entre peatones y vehículos causado por una infraestructura y señalización para el peatón insuficiente y una ausencia de cultura ciudadana que induzca comportamientos seguros de conductores y peatones. Por último, la ciudad tiene una política de estacionamiento que fomenta el uso del automóvil y parece no estar alineada con un desarrollo sostenible de la ciudad. Esto considerando que, en Bogotá existen actualmente dos políticas principales de estacionamientos: una establece requerimientos mínimos de cajones de estacionamientos por metro cuadrado construido para los constructores inmobiliarios y la otra establece tarifas máximas por minuto para los estacionamientos públicos de la ciudad, dos políticas que vuelven más atractivo el uso del automóvil.

La ciudad de Bogotá ha implementado diversas medidas que han permitido mitigar las externalidades negativas del exceso de tráfico. Por un lado, en el año 2001 inició la operación del sistema de transporte masivo rápido en buses *TransMilenio*, que circula por carriles segregados del tráfico mixto desligando así a los usuarios de transporte público de los problemas de congestión de la ciudad. Sin embargo, es de mencionar que en la actualidad, el transporte público colectivo que circula en tráfico mixto, sigue movilizando a la mayoría de usuarios de transporte público los cuales se siguen viendo afectados por la situación de congestión de la ciudad y que además, el sistema *TransMilenio* se ha deteriorado con el tiempo debido a una ausencia de mantenimiento y fortalecimiento del sistema que ha conllevado a que su capacidad haya sido superada, afectando la confiabilidad y comodidad de este sistema de transporte.

Por otro lado, y con el objetivo de reducir el volumen vehicular en la malla vial de la ciudad, se implementó en 1998 la medida *Pico y Placa*, que consiste en una restricción de la circulación de los automóviles en ciertos días de la semana y a ciertas horas del día según la placa de los vehículos. Esta medida está actualmente en funcionamiento y solo se ha aplicado en días hábiles, pero es de considerar que ha tenido diversas variaciones en el tiempo respecto a los horarios de restricción. En la actualidad se restringe la circulación de los automóviles de 6:00AM a 8:30AM y de 3:00PM a 7:30PM. La restricción se realiza de acuerdo al último número de la placa de los vehículos, en días hábiles de número par se restringen los vehículos cuya placa termine en número par (0, 2, 4, 6,8) y en días impares se restringen los vehículos con placa finalizada en números impares (1, 3, 5,7 y 9).

Una de las estrategias de gestión de la demanda del vehículo privado que se ha implementado en diversas ciudades del mundo, es el cobro por congestión. Esta medida consiste en el cobro de una tarifa a los usuarios del automóvil para poder ingresar a ciertas zonas (ya sean áreas o corredores) de la ciudad en ciertos horarios del día. Por medio de esta medida se puede lograr la internalización de costos para los usuarios del vehículo privado, de tal manera que por medio de la tarifa los conductores de automóvil perciban el costo individual de cada viaje igual al costo social que generan. Con este nuevo costo se esperaría reducir el nivel de congestión en la zona o corredor considerando que se disminuye la demanda para utilizar la vía, esto teniendo en cuenta que la disponibilidad a pagar de algunos usuarios que actualmente utilizan la infraestructura (situación sin cobro) está por debajo del costo generalizado de viaje con peaje. Es así como por medio del cobro por congestión es posible maximizar la eficiencia de la utilización del sistema de transporte urbano al desmotivar el uso innecesario del vehículo privado y promover modos de transporte alternativos, como son el transporte público y el transporte no motorizado (Broadus, Litman, & Menon, 2009).

Debido a la situación descrita anteriormente, resulta conveniente evaluar la implementación de un esquema de cobro por congestión en la ciudad de Bogotá, que a diferencia del *Pico y Placa* involucre únicamente los periodos de tiempo y zonas donde se presenta congestión. Para el caso de Bogotá, esta zona corresponde al centro expandido donde se concentra en el centro de actividades económicas de la ciudad.

En el presente informe se realiza un estudio de un esquema *Second Best* de un sistema de cobro por congestión hipotético para dos zonas de la ciudad. Este ejercicio pretende demostrar las implicaciones y resultados de los diferentes objetivos con los que se plantea el cobro por congestión en la ciudad, así como la implicancia del tamaño de la zona, pero es importante mencionar que **es un ejercicio ilustrativo que se basa en diversos supuestos y simplificaciones.**

## POSIBLES TIPOS DE COBROS POR CONGESTIÓN EN BOGOTÁ

### OBJETIVOS DE LOS ESQUEMAS DE COBRO POR CONGESTIÓN

Los esquemas de cobro por congestión pueden ser formulados y diseñados buscando diferentes objetivos. Dependiendo de lo que se busque con la implementación de un cobro por utilizar la infraestructura se obtendrán diferentes resultados. En el presente documento se presentan tres posibles objetivos para la ciudad de Bogotá y se describen cuáles podrían ser sus implicaciones y resultados.

### INTERNALIZACIÓN DE COSTOS

La internalización del costo que cada usuario genera a la sociedad es la base sobre la cual se ha desarrollado la teoría de los cargos por congestión. La formulación de un esquema con este objetivo permitiría aproximar el uso de la infraestructura al óptimo social, es decir que se alcanzaría la asignación de recursos más eficiente, obteniendo el mayor provecho posible a la infraestructura y evitando costos asociados a la congestión excesiva.

En la Figura 17 se muestra la situación de equilibrio actual (marcada con la letra A) y la situación que se busca con el objetivo de internalización de costos (marcada con la letra O).

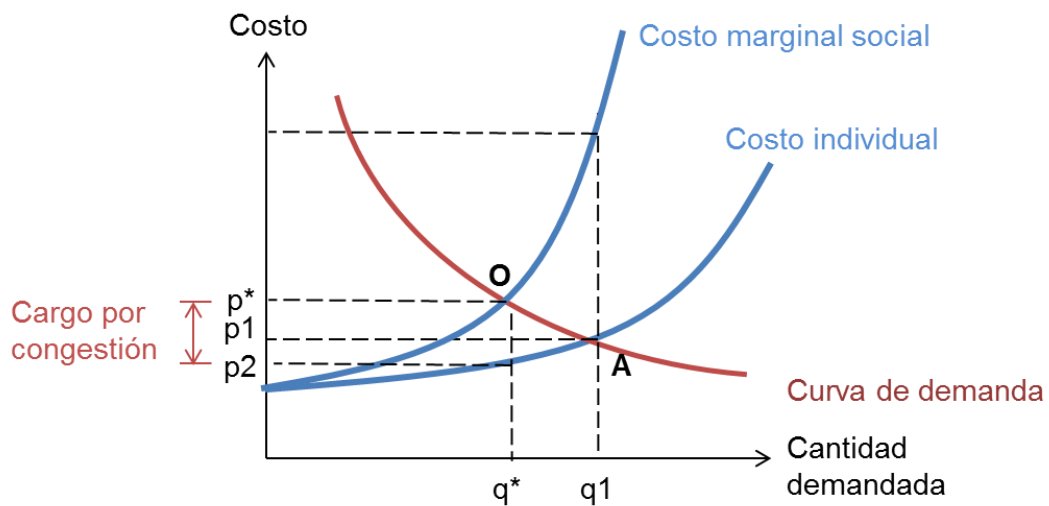
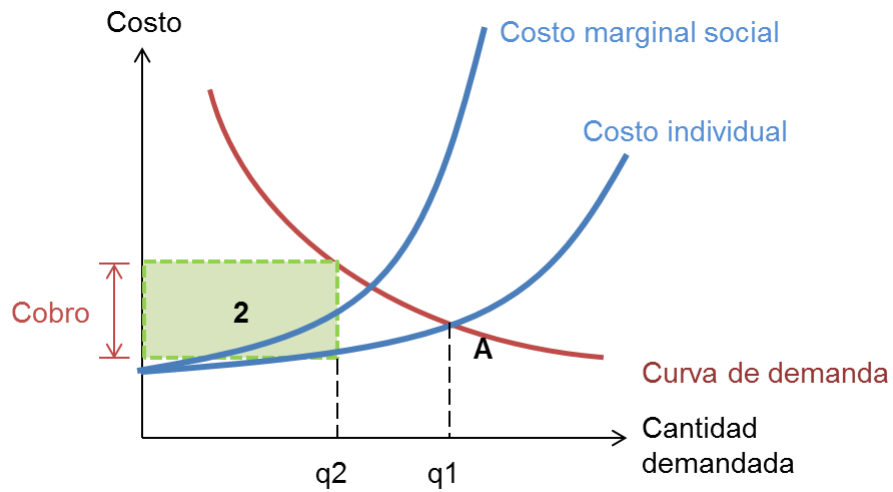


Figura 17. Objetivo 1: Internalización de costos  
Fuente: elaboración propia

### MAXIMIZACIÓN DE INGRESOS

Otro posible objetivo de un cobro por congestión es el de generar una fuente de recursos para el administrador del esquema, para este caso es posible definir el sistema de tal manera que se maximicen los ingresos generados por el cobro. Esta opción no necesariamente representa el punto óptimo para la

sociedad ya que puede llevar a un cobro excesivo, generando des-utilidades sociales. En la Figura 18 se muestra (sombreado en verde) el recaudo maximizado en un esquema de cobro bajo este objetivo, se puede observar que la cantidad demandada no corresponde con la cantidad óptima para la sociedad.



**Figura 18. Objetivo 2. Maximización de ingresos**  
Fuente: elaboración propia

## TRANSFERENCIA DE BENEFICIOS A TRANSPORTE PÚBLICO Y MODOS NO MOTORIZADOS

Las experiencias internacionales han demostrado que el cobro por congestión permite potenciar el uso de otros modos de transporte, no sólo porque se hace menos atractivo el uso de vehículo privado, sino porque se puede aprovechar la oportunidad para mejorar los atributos de los modos alternativos. El tercer objetivo que se plantea en el presente documento es el de transferir los beneficios obtenidos por la implementación del cobro por congestión a los modos que se deseen incentivar, en primera instancia el recaudo por cobro se puede destinar al mejoramiento de la infraestructura, operación y mantenimiento de los elementos de los otros modos. Además, se puede pensar que la reducción del volumen vehicular inducida por el cobro genera espacio libre en las vías, espacio que podría ser aprovechado por los usuarios de otros modos, ya sea destinándolo a carriles para buses, ciclo-rutas, senderos peatonales, etc. Este objetivo induce una mayor aceptabilidad de la medida, pues ofrece beneficios visibles para la ciudadanía.

## METODOLOGÍA

En la Figura 19 se ilustra el proceso seguido para realizar el análisis de la implementación de un cobro por congestión en dos zonas de la ciudad de Bogotá.

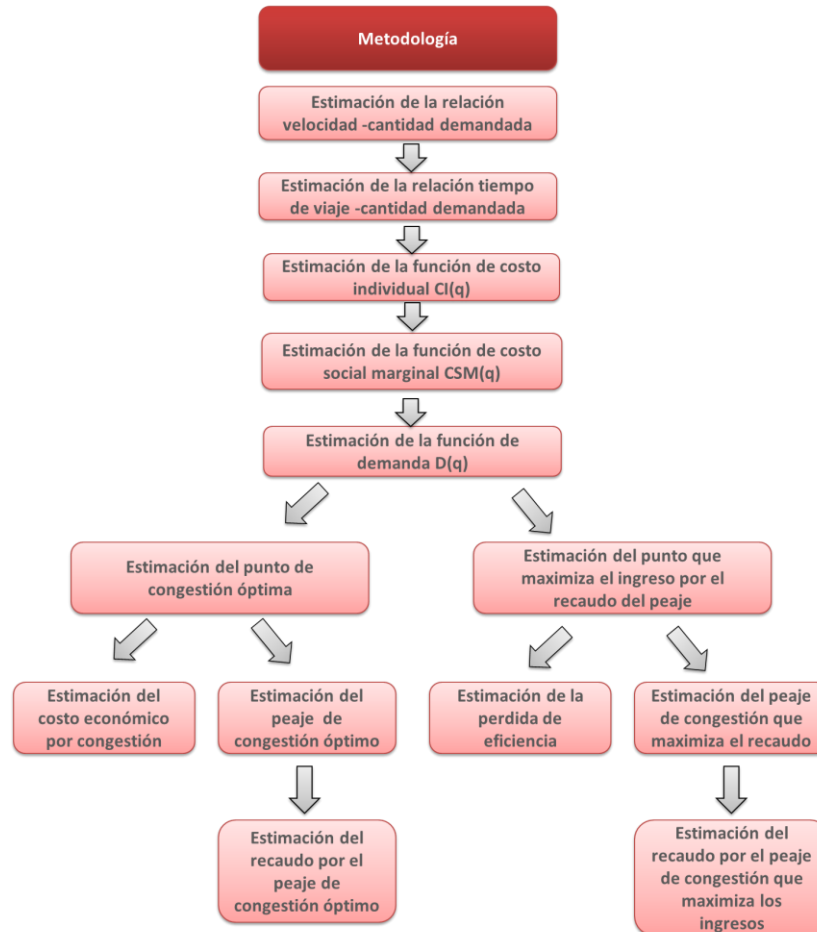


Figura 19. Metodología del análisis del cobro por congestión en Bogotá

## ZONAS DE ANÁLISIS

Para el caso de Bogotá se realizará el análisis de la situación de congestión actual, en la red de transporte privado de dos zonas de la ciudad, estas zonas abarcan el centro de actividades principales en economía, comercio y desarrollo de la ciudad pero con una extensión de superficie diferente.

Como se mencionó anteriormente, el análisis de congestión presentado en este documento se realiza para la situación actual, es decir, **con restricción de Pico y Placa**. Considerando que la implementación de un peaje por congestión iría de la mano con el desmonte del Pico y Placa. **Se debería considerar en futuros estudios el volumen vehicular adicional, generado por el desmonte del Pico y Placa, teniendo en cuenta el efecto de este en los resultados del estudio .**

## ZONA 1

---

La Zona 1 está comprendida entre la Avenida Circunvalar, la Avenida Caracas, la Calle 26 y la Calle 72 (Figura 20), tiene un área total de 7.73 km<sup>2</sup> y se realizan un total de 1'566,000 viajes en un día hábil típico. Es importante tener en cuenta que en esta área se concentran los principales centros financieros de la ciudad y abarca corredores importantes como la Carrera Séptima, lo que hace que sea un destino muy atractivo por parte del sector económico de la ciudad.



**Figura 20 Zona 1 comprendida entre Av. Circunvalar - Av. Caracas y Calle 26 - Calle 72**  
**Fuente: elaboración propia en VISUM 12.0**

A partir de los datos obtenidos de la Encuesta de Movilidad del 2011, se puede determinar el comportamiento de los viajes que llegan, salen y transitan en la zona de estudio. En la Figura 21 se observa el comportamiento de los viajes que ingresan a la zona en modo motorizado (taxi, automóvil y moto), observando que en horas de la mañana el volumen vehicular se intensifica, coincidiendo con la hora pico de la ciudad, lo cual indica que esta zona es el destino de una gran proporción de viajes en Bogotá a la hora de iniciar las actividades diarias. Para esta zona se registra el ingreso de aproximadamente 183,400 viajes en la hora pico y en total se contabiliza el ingreso de 773,100 viajes diarios. Analizando el comportamiento según el modo, las motos entran a la zona desde tempranas horas en la mañana y tienen una forma más uniforme. Los taxis y automóviles se comportan de manera similar, resaltando que aparte de la hora pico en la mañana tiene una conducta algo uniforme a partir de las 11am hasta las 7pm.

## Viajes que entran (Zona 1)

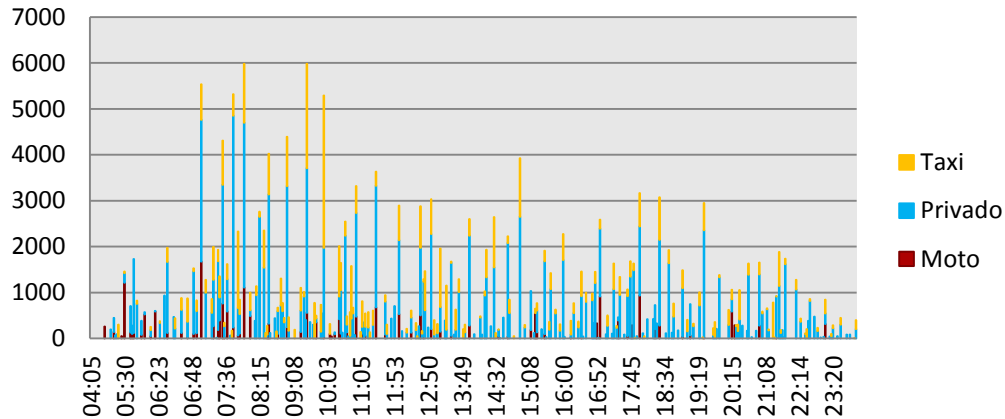


Figura 21 Viajes que entran a la zona 1 Fuente: elaboración propia

## Viajes que salen (Zona 1)

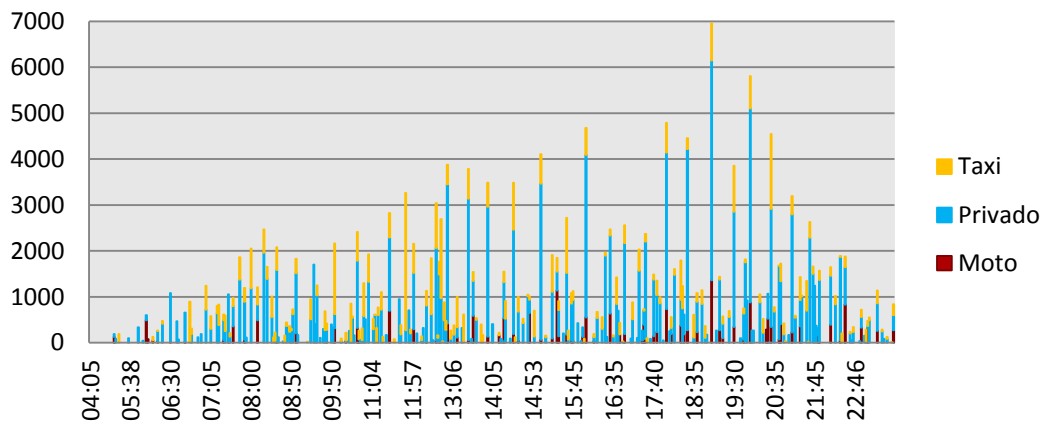


Figura 22 Viajes que salen a la zona 1 Fuente: elaboración propia

En la Figura 22, se observa el comportamiento de los viajes que salen de la zona en taxi, vehículo privado tipo automóvil y moto, en donde hay un pico evidente hacia las horas de la tarde, donde probablemente coincide con la finalización de la jornada laboral de los usuarios. En el mayor pico se registran aproximadamente 155,000 viajes que salen de la zona y en total al día se registran aproximadamente 800,000 viajes. Sin embargo, también hay un fuerte movimiento en las horas de la mañana, donde se originan viajes de las zonas residenciales. Cabe resaltar que la zona de estudio concentra población de alto estrato socioeconómico lo que indica que hay una alta tasa de motorización por lo tanto traduce el gran número de viajes que salen de la zona.

## Viajes internos (Zona 1)

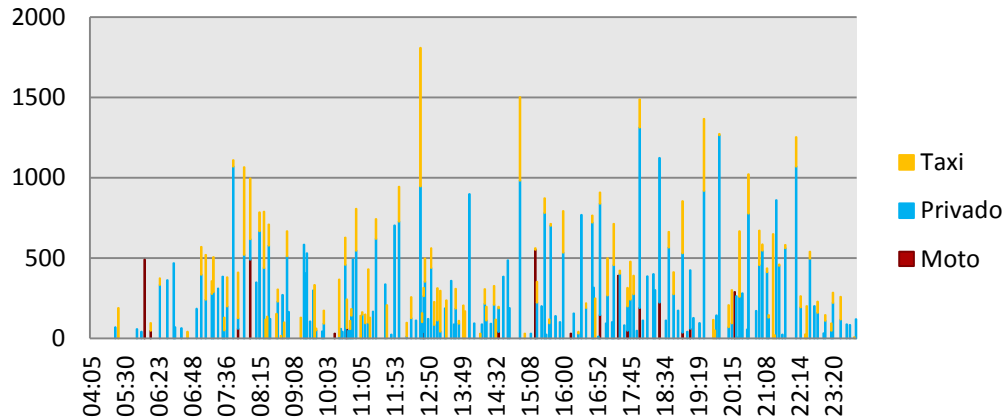


Figura 23 Viajes realizados dentro de la zona 1 Fuente: elaboración propia

En la Figura 23 se observa los viajes que se realizan internamente en la zona, en taxi, automóvil privado y moto, y se ilustra que para este caso específico no hay un patrón determinado, por lo que los viajes se hacen por intereses diferentes de los usuarios como comercio u ocio. En total se registraron 195,600 viajes en un día hábil típico.

En el análisis de la zona 1 se consideró que la vía del borde occidental, la Av. Caracas, no se debía incluir en el esquema del cobro ya que sirve como bypass para aquellos usuarios que no ingresan a la zona pero deben atravesarla.

Por último, la información extraída del modelo macroscópico de tráfico del sistema de transporte de Bogotá de la Universidad de los Andes evidencia que la **velocidad media del flujo vehicular en esta zona es de 15.80 km/h**. La misma se obtuvo por medio de la relación entre cantidad demandada y tiempo de viaje por kilómetro (Ver Figura 24).

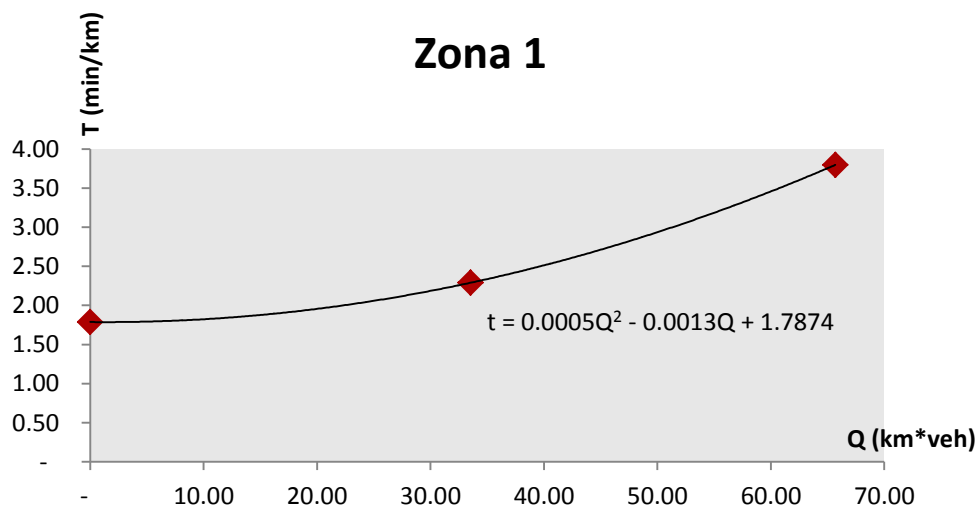


Figura 24. Relación Q-T para la Zona 1. Fuente: Elaboración propia

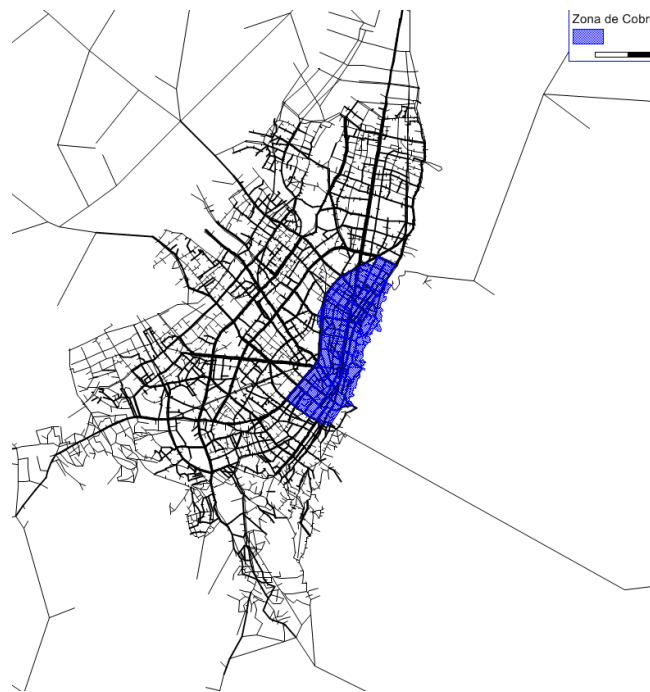


## ZONA 2

---

La Zona 2 está comprendida entre la Avenida Circunvalar, la Carrera 30, la Calle 6 y la Calle 100 (Figura 25), tiene un área total de 30.03 km<sup>2</sup> y se realizan un total de 3'170,000 viajes en un día hábil típico. Esta zona es más grande que la anterior y abarca corredores importantes como la Carrera Séptima o la Avenida Caracas, en donde se concentran los principales centros financieros, políticos y económicos de la ciudad, lo que hace que sea un destino muy atractivo.

A partir de los datos obtenidos de la Encuesta de Movilidad del 2011, se puede determinar el comportamiento de los viajes que llegan, salen y transitan en la zona de estudio. En la Figura 26 se ilustra la distribución horaria de los viajes en taxi, automóvil privado y moto, que entran a la zona seleccionada, esto permite observar que el volumen de viajes en las horas de la mañana se intensifica, coincidiendo con la hora pico de la ciudad, lo cual indica que esta zona es el destino de una gran proporción de viajes en Bogotá a la hora de iniciar las actividades diarias, alcanzando el ingreso de aproximadamente 350,000 viajes en la hora pico y un total de 1'591,200 viajes al día. Analizando el comportamiento según el modo, las motos entran a la zona desde tempranas horas en la mañana y aportan al pico de la mañana, y tienen una forma más uniforme. Los taxis y los automóviles se comportan de manera similar, resaltando que aparte de la hora pico en la mañana tiene una conducta algo uniforme a partir de las 11am hasta las 6pm.



**Figura 25 Zona 2 comprendida entre Av. Circunvalar – Cr. 30 y Calle 6 - Calle 100 Fuente: elaboración propia en VISUM 12.0**

## Viajes que entran (Zona 2)

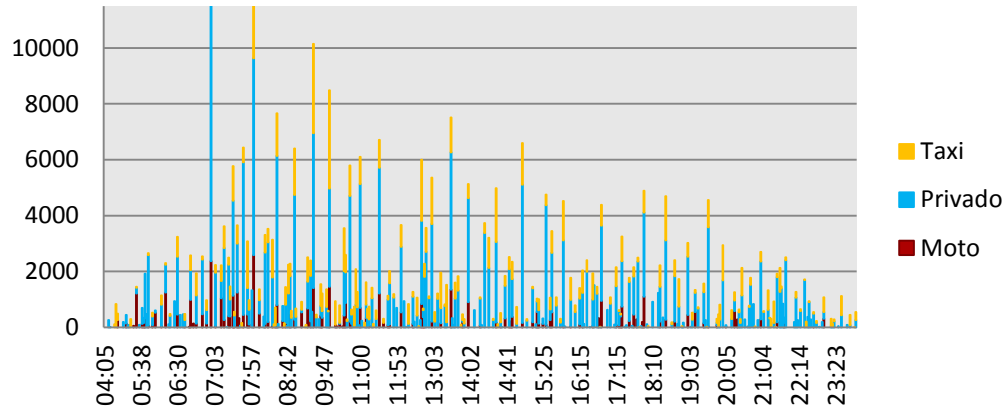


Figura 26 Viajes que entran a la zona 2 Fuente: elaboración propia

En la Figura 27 se observa el comportamiento de los viajes que salen de la zona en taxi, automóvil privado y moto, en donde hay un pico centrandose hacia las horas de la tarde, donde probablemente coincide con la culminación de jornada laboral de los usuarios, en la hora pico más alta se registran 298,700 viajes que salen y en total se registra 1'578,300 viajes. Sin embargo, también hay un fuerte movimiento en las horas de la mañana, donde traduce el origen de viajes de las zonas residenciales de la zona.

## Viajes que salen (Zona 2)

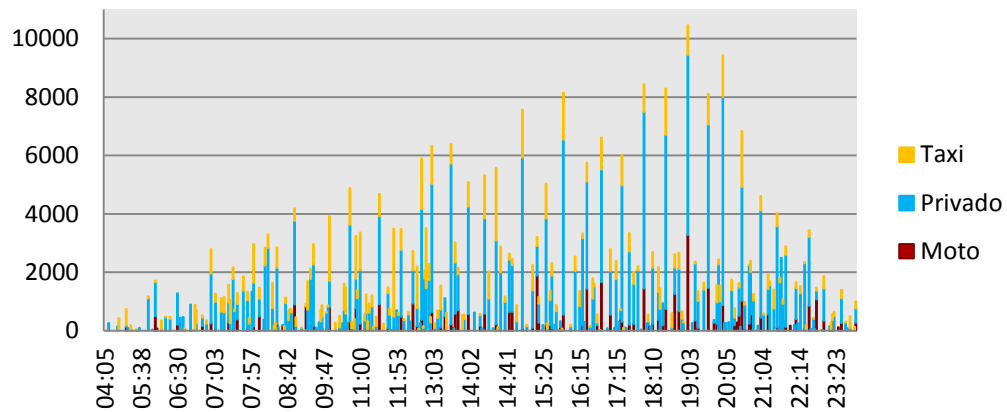


Figura 27 Viajes que salen de la zona 2 Fuente: elaboración propia

## Viajes internos (Zona 2)

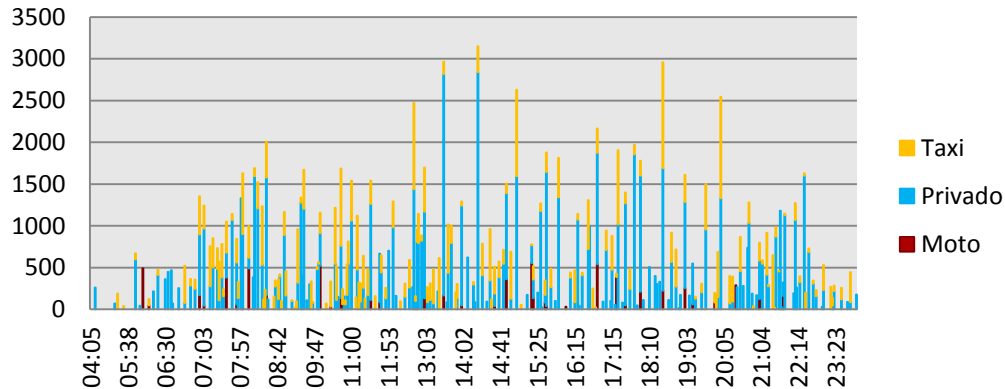


Figura 28 Viajes que se realizan dentro de la zona 2 Fuente: elaboración propia

En la Figura 28 se observa los viajes que se realizan entre la zona 2, en taxi, automóvil privado y moto, en este caso no hay un patrón muy claro, pero se puede resaltar que hay un número de viajes alto hacia el mediodía. En total se registraron 546.869 viajes en un día hábil típico para esta zona.

Para esta zona se calculó el factor equivalente entre hora pico y hora valle, donde se tuvo en cuenta los datos proporcionados por la encuesta de movilidad 2011, y se determinó que el total de viajes de la hora pico (6:15 – 7:15) es de 2'085,000 y el total de viajes para la hora valle (8:30 – 9:30) es de 1'040.650 viajes, obtenido un factor de 0,5. Es decir, que en la hora pico se produce cerca del doble de viajes que en la hora valle. Hay que resaltar que esta encuesta fue realizada antes de la implementación del nuevo pico y placa.

En el análisis la Zona 2: se consideró que la vía de borde Av. NQS no se debían incluir en el esquema del cobro ya que serviría como bypass para los usuarios que no ingresan a la zona pero deben atravesarla.

Por último, de la información extraída del modelo macroscópico de tráfico del sistema de transporte de Bogotá de la Universidad de los Andes, se determinó que la **velocidad media del flujo vehicular en esta zona es de 16.3 km/h**. De igual manera que para la zona 1, esta velocidad se obtuvo por medio de la relación entre cantidad demandada y tiempo de viaje por kilómetro (Ver Figura 29).

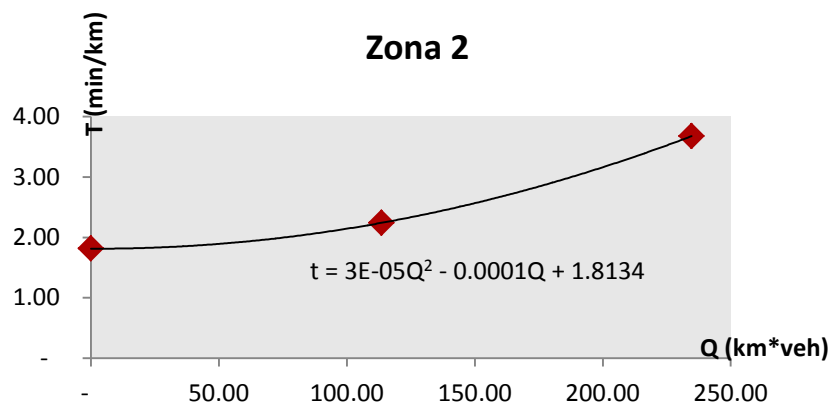


Figura 29 Relación Q-T para la Zona 2. Fuente: Elaboración propia

## RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados de este ejercicio ilustrativo, realizado para la situación actual de la ciudad con restricción de Pico y Placa para dos zonas de la ciudad. Los resultados presentados siguieron la metodología descrita anteriormente y se basaron en los supuestos y simplificaciones explicados en capítulos anteriores. Es importante recordar que este ejercicio pretende demostrar las implicaciones y resultados de los diferentes objetivos con los que se plantea el cobro por congestión en la ciudad, así como la implicación del tamaño de la zona.

### ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN COSTO MARGINAL SOCIAL

Como se mencionó anteriormente la función de costo individual permite estimar el costo en que incurre un individuo al transportarse, incluyendo los efectos de agentes externos a su actividad (ejemplo: congestión, ruido). Para el caso de los usuarios del vehículo privado, la función de costo individual  $CI(q)$  se estima en función del uso de las vías  $q$  (veh\*km), se expresa en pesos por cada vehículo\*kilómetro y tiene dos componentes: uno constante y uno variable. En este ejercicio se incluyó en la ecuación de  $CI(q)$  una parte constante que considera los costos de operación y los costos de estacionamiento del vehículo privado y una la parte variable que es el producto del tiempo de viaje por el valor del tiempo. Sin embargo, vale la pena resaltar que esta función puede incluir otros componentes que no se consideran en este ejercicio ilustrativo (Ver CUADRO 4).

Para este caso la parte constante de la función de costo individual es igual a 413\$/km, considerando un costo de operación de 280\$/km tomado del Modelo Grupo consultor de la primera línea de metro de Bogotá (GC (SENER-TMB)) y un costo de estacionamiento de 133\$/Km calculado con base en la información de la encuesta de movilidad de Bogotá del 2011. Por otro lado, la parte variable del modelo considera un valor del tiempo por vehículo igual a 125\$/min estimado a partir de una ocupación de 1.3 pasajeros/vehículo y un valor del tiempo promedio de taxi y auto calculado a partir del estrato promedio por modo según los datos de la encuesta de movilidad de Bogotá de 2011 y el valor del tiempo por estrato del Modelo GC (SENER-TMB). Por último, el tiempo de viaje se calcula a partir de una ecuación de tiempo en función del uso de las vías  $q$  (veh\*km) estimado para las diferentes zonas de análisis con base en el Modelo Macroscópico de tráfico de la Universidad de los Andes (Ver Figura 24 y Figura 29). Considerando lo anterior se obtuvo la función de costo individual de cada zona:

$$CI(q)_{zona1} = \left(\frac{413\$}{Km}\right) + (0.0005Q^2 - 0.0013Q + 1.7874) \frac{min}{Km} * 125 \frac{\$}{min}$$

$$CI(q)_{zona2} = \left(\frac{413\$}{Km}\right) + (3E - 05Q^2 - 0.0001Q + 1.8134) \frac{min}{Km} * 125 \frac{\$}{min}$$

### ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN COSTO MARGINAL SOCIAL

La curva de costo marginal social, refleja tanto los costos que enfrenta un usuario de la vía como el costo que este impone a los demás usuarios por transitar en la vía. La función de costo marginal se deduce de la curva de costo individual  $CI(q)$  y es igual a la suma de la función de costo individual y su derivada

multiplicada por el uso de la vía  $q$ . Entonces la función de costo marginal social para cada zona quedo estimada de la siguiente forma:

$$CSM(q)_{zona1} = 636.4 - 0.325Q + 0.1875Q^2$$

$$CSM(q)_{zona2} = 639.7 - 0.025Q + 0.01125Q^2$$

## ESTIMACIÓN FUNCIÓN DE DEMANDA

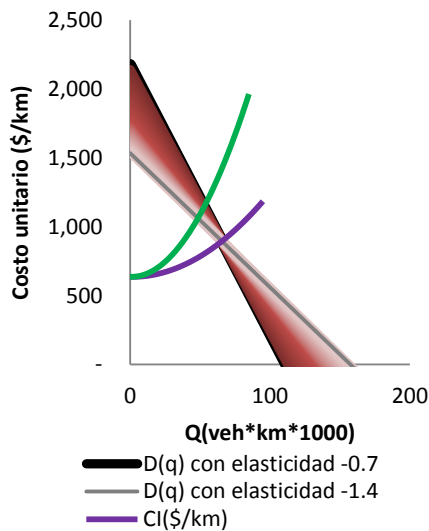
La estimación de la función de demanda para el análisis se basó en el modelo de elección modal estimado por SENER (2009). Se estimó la elasticidad promedio del uso del vehículo frente a la variación de su costo monetario, para los grupos socioeconómicos de estratos bajos y altos, calculando el cambio en la probabilidad de utilizar el modo privado, generado por el cambio del componente monetario de la función de utilidad. La elasticidad estimada  $E$  se encuentra en el rango  $(-0.7;-1.4)$  y fue utilizada para determinar la pendiente de la curva de demanda  $m_d$  para cada zona de análisis  $i$  teniendo en cuenta el punto actual de demanda y costo individual. Una vez estimada la pendiente de la curva se determinó la función de demanda  $D(q)$  para cada zona de análisis:

$$Pendiente\ de\ la\ función\ de\ demanda(m_d)_i = \frac{Q_i}{CI(q)_i \times E}$$

$$Función\ de\ demanda\ D(q)_i = Q_0 + (m_d)_i Q$$

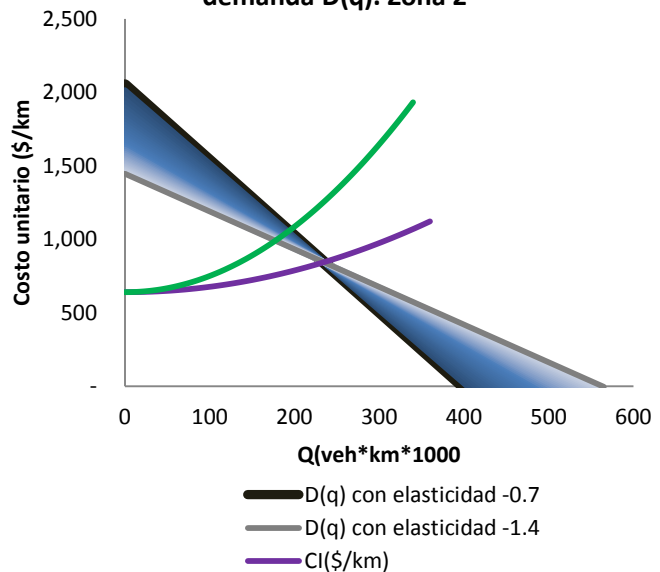
Para determinar los resultados del esquema de cobro de congestión de las dos zonas de análisis, se realizó un análisis de sensibilidad de la función de demanda respecto al valor de la elasticidad utilizando el rango  $[-0.7,-1.4]$ . Este análisis se puede observar en la Figura 30 y la Figura 31 para la zona 1 y 2 respectivamente.

**Análisis de sensibilidad de la curva de demanda  $D(q)$ . Zona 1**



**Figura 30. Análisis de sensibilidad de la curva de demanda, Zona 1**

**Análisis de sensibilidad de la curva de demanda  $D(q)$ . Zona 2**



**Figura 31. Análisis de sensibilidad de la curva de demanda  $D(q)$ . Zona 2**

Es importante mencionar que **la función de demanda estimada en este ejercicio es hipotética**, considerando las simplificaciones realizadas que además **se sitúan en una Bogotá con restricción de Pico y Placa**. Se esperaría que con la implementación de un peaje por congestión la restricción del Pico y Placa sea abolida, razón por la cual **se debería considerar el volumen vehicular adicional , generado por los carros liberados en la ciudad**. Además de esto, es importante tener en cuenta otras particularidades de la función de demanda de usuarios del vehículo privado, a la hora de determinarla para la estimación de esquema de cobro por congestión en la ciudad.

#### **PARA MEJORAR LA ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN DEMANDA**

- En el caso de Bogotá la función de demanda debe estimarse para una situación sin restricción de *Pico y Placa*.
- Uno de los elementos fundamentales para la estimación de la curva de demanda es la elasticidad. La implantación del peaje amerita un estudio en detalle de las decisiones de diferentes tipos de usuarios ante el cobro, por ejemplo, aplicando una encuesta de preferencias declaradas.
- La curva de demanda no es lineal por lo que debe considerar que la elasticidad de la demanda varía en función del volumen vehicular.
- La función de demanda no es constante a lo largo del día por lo tanto debe considerarse que la elasticidad y disposición a pagar varía de manera temporal.

### **ESTIMACIÓN DEL ÓPTIMO SOCIAL Y PEAJE ÓPTIMO**

Inclusive cuando los conductores de vehículo privado asuman los costos que provocan a la sociedad, existiría congestión en las dos zonas de análisis, pero sería una congestión socialmente óptima. La diferencia con la situación de congestión actual, en la que los conductores no perciben el costo generado a la sociedad, es que este nivel de congestión sería económicamente eficiente. El punto óptimo de congestión para la sociedad lo establece una demanda  $q^*$  con un costo asociado  $p^*$ , en el punto de intersección **O** entre la curva CSM ( $q$ ) y la curva  $D(q)$ , en el cual el costo marginal social es igual al beneficio social marginal, por lo tanto, para estimar este punto se deben igualar las curvas CSM ( $q$ ) y  $D(q)$ . Considerando el análisis de sensibilidad de la curva de demanda, presentado en el capítulo previo, se obtuvo el rango de resultados del punto óptimo de congestión para cada zona (Ver Tabla 8).

**Tabla 8. Punto óptimo de congestión para la Zona 1 y 2 de análisis**

	Óptimo social	
	$Q^*$ (veh*km*1000)	$P^*$ (Veh/Km)
<b>Zona 1</b>	[48,53]	[1062,1144]
<b>Zona 2</b>	[178,193]	[990,1055]

**Fuente: elaboración propia**

La tarifa que debe cobrarse a los usuarios del vehículo privado que ingresen a la zona de cobro, para lograr el punto óptimo de congestión se conoce como peaje de congestión óptimo. Para calcularlo se estimó la

diferencia entre el costo social marginal CSM (q) y el costo individual CI (q) evaluados en  $q=q^*$ , y esta se multiplicó por el número de kilómetros que recorre un vehículo en promedio por viaje (Ver Tabla 9).

**Tabla 9. Peaje óptimo para la Zona 1 y 2 de análisis**

	Peaje óptimo (\$)
<b>Zona 1</b>	[\$2600-\$3100]
<b>Zona 2</b>	[\$2100-\$2500]

Fuente: elaboración propia

Es de mencionar, que no todos los viajes en vehículo privado generan el mismo costo a la sociedad. Por esta razón se hace necesario considerar ciertos aspectos de los viajes realizados en automóvil a la hora de estimar la tarifa óptima.

**OTROS ASPECTOS A CONSIDERAR PARA ESTIMAR EL PEAJE ÓPTIMO**

- Kilómetros recorridos
- Edad de los vehículos
- Hora del día en la que se realiza el viaje

## ESTIMACIÓN DEL COSTO DE ECONÓMICO POR CONGESTIÓN

El costo que representa a la sociedad la situación de congestión sin cobro, para la cual los conductores no internalizan el costo que generan a la sociedad, es conocido como el costo económico de la congestión. Este costo se calculó como el área entre la curva de costo social marginal CSM (q) y la curva de demanda D (q), acotadas entre el punto de demanda óptima  $q^*$  y la demanda actual  $q^A$ , (para  $q^A > q^*$ ):

$$\text{Costo económico por congestión} = \int_{q^*}^{q^A} CSM(q) - \int_{q^*}^{q^A} D(q)$$

Los resultados obtenidos para las dos zonas de análisis se expandieron al día utilizando el factor de expansión de cada zona y se presentan a continuación en la Tabla 10.

**Tabla 10. Costo por congestión de la Zona 1 y 2 de análisis**

	Costo por congestión (MM\$/día)
<b>Zona 1</b>	[24, 32]
<b>Zona 2</b>	[62, 84]

Fuente: elaboración propia

## ESTIMACIÓN DEL PEAJE QUE MAXIMIZA LOS INGRESOS Y LA PERDIDA DE EFICIENCIA ASOCIADA

Para calcular el punto de demanda  $q_r$  que maximiza los ingresos asociados al cobro por congestión se maximizó la ecuación que representa el recaudo por el peaje de congestión:

$$\frac{dy}{dq} (Q \times (D(q) - CI(q))) = 0$$

Teniendo en cuenta que se realizó un análisis de sensibilidad de la función de demanda respecto al valor de la elasticidad

Para cada zona de análisis, se presenta a continuación el punto de demanda  $Q_r$  en el cual se maximizan los ingresos por el cobro. Así mismo se presenta la curva de demanda, curva de costo individual y curva de costo marginal evaluado en dicho punto ( $Q_r$ ) (Ver Tabla 11).

**Tabla 11. Punto de demanda que maximiza los ingresos  $Q_r$ ,  $D(Q_r)$ ,  $CI(Q_r)$ ,  $CSM(Q_r)$**

	$Q_r$ (veh*km*1000)	$D(q)$ (\$/Km)	$CI(q)$ (\$/Km)	$CSM(q)$ (\$/Km)
<b>Zona 1</b>	[34,35]	[1509,1195]	[704,707]	[844,854]
<b>Zona 2</b>	[121,124]	[1425,1128]	[693,696]	[802,809]

Fuente: elaboración propia

Para calcular la tarifa que debe cobrarse a los usuarios del vehículo privado que ingresen a la zona de cobro, de tal manera que se logren maximizar los ingresos por el recaudo, se estimó la diferencia entre el costo social marginal  $CSM(q)$  y el costo individual  $CI(q)$  evaluados en  $q=q_r$ , y esta se multiplicó por el número de kilómetros que recorre un vehículo en promedio por viaje. El resultado para cada zona se presenta a continuación en la Tabla 12.

**Tabla 12. Peaje que maximiza los ingresos en la zona 1 y 2 de análisis**

	Peaje que maximiza los ingresos (\$)
<b>Zona 1</b>	[4400-7300]
<b>Zona 2</b>	[3900-6600]

Fuente: elaboración propia

La pérdida de eficiencia asociada a un peaje de congestión que maximiza los ingresos se calcula para una demanda  $q_r < q^*$  como el área entre la curva de demanda  $D(q)$  y la curva de costo social marginal  $CSM(q)$ , acotada entre el punto de demanda  $q_r$  y el punto de demanda óptima  $q^*$ :

$$Perdida\ de\ eficiencia = \int_{q_r}^{q^*} D(q) - \int_{q_r}^{q^*} CSM(q)$$

La pérdida de eficiencia se calculó al día para cada zona, expandiendo los resultados de la hora pico con el factor de expansión de cada zona de análisis (Ver Tabla 13).



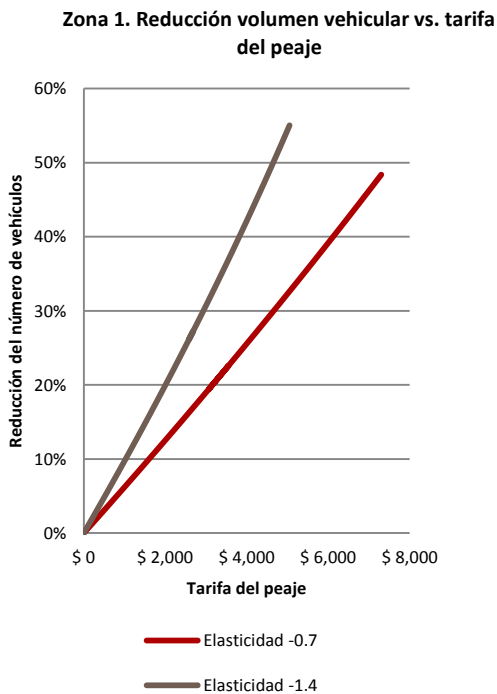
**Tabla 13. Pérdida de eficiencia en la zona 1 y 2 de análisis**

	<b>Pérdida de eficiencia (MM\$/día)</b>
<b>Zona 1</b>	[17- 47]
<b>Zona 2</b>	[35- 171]

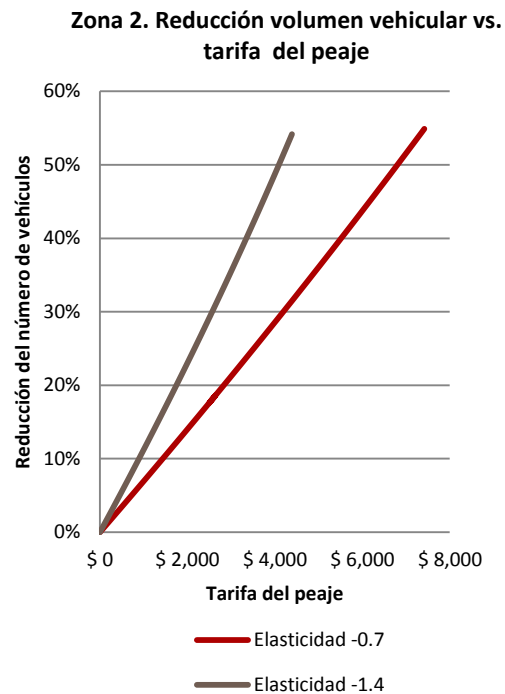
Fuente: elaboración propia

## ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA TARIFA Y LA DISMINUCIÓN DEL VOLUMEN VEHICULAR

Como se pudo observar en los capítulos previos, del monto de la tarifa y de las características de la demanda depende la disminución vehicular obtenida por el cobro. Teniendo en cuenta las características de la demanda previamente definidas y el rango de elasticidad [-0.7,-1.4] asociado a dicha demanda, se determinó la relación entre la tarifa del peaje y la disminución del volumen vehicular para cada zona de análisis y para un rango más amplio de tarifas de tal manera que se pudiera entender mejor el fenómeno. La Figura 32 y la Figura 33 ilustran esta relación y en ellas se puede observar que la reducción porcentual es independiente del tamaño de la zona, depende únicamente de la tarifa. Sin embargo, es de considerar que una reducción en valor absoluto, es decir, de número de vehículos, será mayor para una zona más grande, la zona 2, que para zona 1, más pequeña. Por último, es de mencionar que las figuras permiten observar que entre más inelástica sea la demanda, se obtendrá una menor disminución vehicular ante una misma tarifa asociada a un esquema de cobro por congestión.



**Figura 32. Zona 1. Reducción del volumen vehicular vs. Tarifa del peaje**



**Figura 33. Zona 2. Reducción del volumen vehicular vs. Tarifa del peaje**

## ESTIMACIÓN DEL RECAUDO POR EL PEAJE DE CONGESTIÓN

El recaudo por el peaje de congestión se calculó como el producto entre el valor del peaje y la demanda asociada al costo con peaje, es decir:

$$\text{Recaudo por peaje de congestión} = Q \times (D(q) - CI(q))$$

Siguiendo esta metodología y utilizando los rangos de elasticidad previamente definidos [-0.7,-1.4], en el análisis de sensibilidad de la curva de demanda, se determinó la relación entre la tarifa del peaje y el valor recaudado por el cobro para cada zona. La Figura 34 y la Figura 35 ilustran esta relación y nos permiten visualizar que de seleccionarse una zona más grande, a la que ingresen más vehículos, en este caso la Zona 2, la cantidad de dinero recaudada será mayor, respecto a una zona de menor tamaño. Así mismo, se puede observar que entre más inelástica sea la demanda, menor dinero podrá ser recaudado.

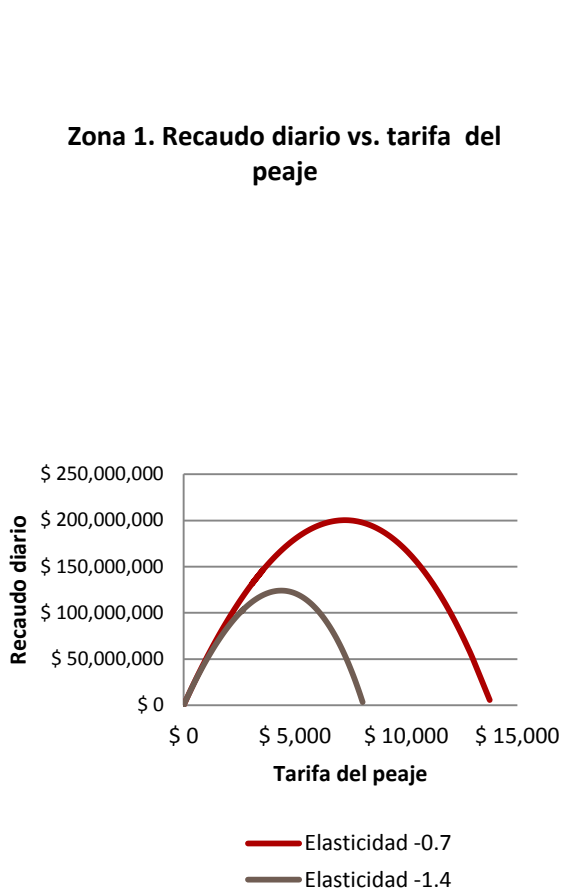


Figura 34. Recaudo diario vs. Tarifa del peaje en la Zona 1.

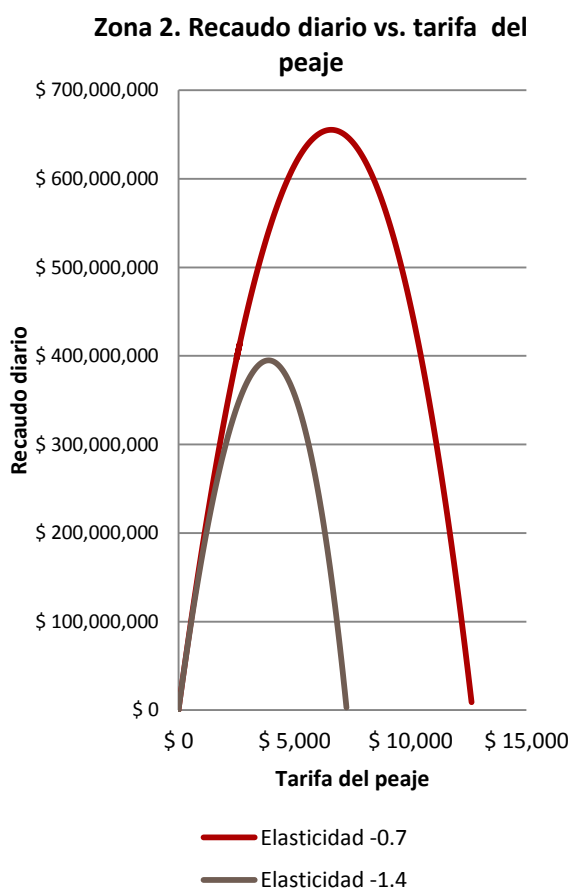


Figura 35. Recaudo diario vs. Tarifa del peaje en la Zona 1.

Una vez determinado el comportamiento del recaudo en función de la demanda, se realizó el cálculo específico para cada zona y cada objetivo, es decir, se determinó el rango de recaudo que se obtendría en cada zona para el caso que un esquema de cobro se implemente para alcanzar un óptimo social y para el caso que en el que se busque una maximización de ingresos (Ver Tabla 14).

**Tabla 14. Recaudo diario por zona y objetivo**

	Recaudo diario (MM\$/día)	
	Objetivo 1: Óptimo social	Objetivo 2: Maximización de ingresos
Zona 1	[101-131]	[124, 200]
Zona 2	[307-397]	[395, 655]

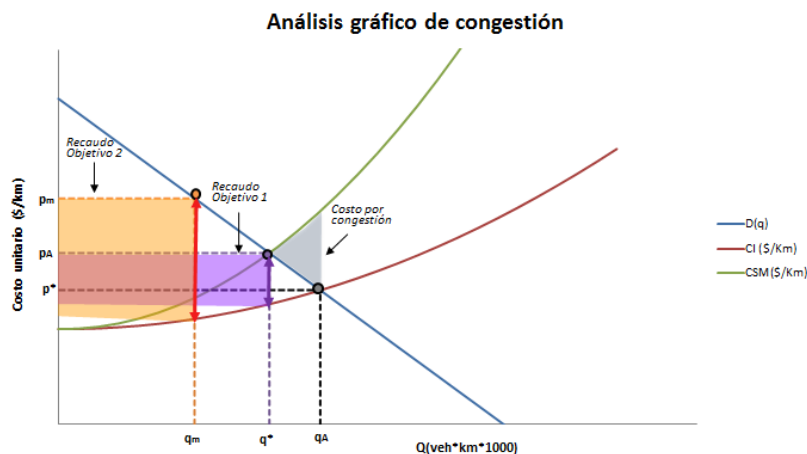
Fuente: elaboración propia

Como se esperaba, la zona más grande (Zona 2) recauda más dinero que la más pequeña (Zona 1) en todos los escenarios. Por otro lado, en lo que respecta a los objetivos, la búsqueda de un óptimo social resulta en un menor recaudo que la búsqueda de una maximización de ingresos, sin embargo, vale la pena recordar que este último incurre en una pérdida de eficiencia que paga la sociedad.

Por último, es de mencionar que los rangos obtenidos son muy amplios y esto advierte sobre el cuidado que se debe tener con la estimación de la curva de demanda a la hora de estimar el recaudo de un esquema de cobro por congestión, pues un error en la estimación de la curva de demanda puede verse reflejado en un recaudo sobreestimado o subestimado, que podría afectar el estudio de la viabilidad financiera del proyecto.

### SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS PARA OBJETIVOS 1 Y 2: ÓPTIMO SOCIAL Y MAXIMIZACIÓN DE INGRESOS

En la Figura 36 se presenta un análisis gráfico de la congestión representado por la curva de demanda, curva de costo individual y curva de costo marginal social. En la misma, se puede observar el costo que genera la situación actual de congestión a la sociedad, que se ilustra en el gráfico por el área azul demarcada. Así mismo, se representa gráficamente los requerimientos y resultados para lograr una situación de congestión óptima para la cual los usuarios de las vías internalicen el costo que generan a la sociedad, es decir, para lograr el objetivo 1. El peaje que debe cobrarse para alcanzar el objetivo 1 se muestra por medio de la flecha morada, y así mismo se ilustra el recaudo que generaría este cobro el cual se representa por el área morada. Por último, en el caso de buscar una maximización de los ingresos por el cobro de congestión (objetivo 2), se ilustra en el gráfico el peaje que se debería cobrar por medio de la flecha roja y el recaudo que se lograría con este objetivo representado por el área amarilla.



**Figura 36. Análisis gráfico de congestión**

Considerando el análisis gráfico de congestión y los análisis de sensibilidad de las curvas de demanda mostrados en capítulos previos, se puede observar que la variación en la curva de demanda afecta todos los resultados de los esquemas de cobro por congestión evaluados. Teniendo esto en consideración se presenta a continuación en la Tabla 15 y la Tabla 16 la síntesis de los resultados por rangos para la zona 1 y 2 respectivamente.

**Tabla 15. Resultados Zona 1. Esquema de cobro por congestión por ingreso a la zona 1**

ZONA 1		Peaje (\$)	Costo por congestión (MM\$/día)	Perdida de eficiencia (MM\$/día)	Beneficio neto (MM\$/día)	$\Delta Q\%$	Velocidad promedio (Km/hr)	Recaudo diario (MM\$/día)	Recaudo anual (MM\$/año)
	Situación Actual	-	[24,32]	-	-	-	16	-	-
	Objetivo 1: Óptimo social	[2600-3100]	-	-	[24-32]	[-19%,-26%]	[20,22]	[101,131]	[30400,39500]
	Objetivo 2: Maximización de ingresos	[4400-7300]	-	[17-47]	[24-32]	[-47%,-48%]	[25,26]	[124,200]	[37200,60100]

Fuente: elaboración propia

**Tabla 16. Resultados Zona 2. Esquema de cobro de congestión por ingreso a la zona 2**

ZONA 2		Peaje (\$)	Costo por congestión (MM\$/día)	Perdida de eficiencia (MM\$/día)	Beneficio neto (MM\$/día)	$\Delta Q\%$	Velocidad promedio (Km/hr)	Recaudo diario (MM\$/día)	Recaudo anual (MM\$/año)
	Situación Actual	-	[62,84]	-	-	-	16	-	-
	Objetivo 1: Óptimo social	[2100-2500]	-	-	[62,84]	[-18%,-24%]	[21,23]	[307,397]	[92100,119000]
	Objetivo 2: Maximización de ingresos	[3900-6600]	-	[35-171]	[62,84]	[-47%,-48%]	[26,27]	[395,655]	[118500,196600]

Fuente: elaboración propia

## RESULTADOS PARA EL OBJETIVO 3: TRANSFERENCIA DE BENEFICIOS A TRANSPORTE PÚBLICO Y MODOS NO MOTORIZADOS

Para la demanda óptima  $q^*$  (obtenido con el objetivo 1), es posible plantear una serie de intervenciones a la infraestructura de la zona que permitan hacer que la velocidad de flujo se mantenga aproximadamente igual a la de la situación sin cobro. Esto con el objetivo de quitarle el espacio ganado a los vehículos particulares y otorgárselo a los modos no motorizados o al transporte público. Estas intervenciones deben ser las que generen un beneficio a los usuarios de modos alternativos, igual o mayor al que traería la implementación del cobro óptimo por congestión a los usuarios del vehículo privado.

En el caso de las Zona 1, por ejemplo, se podría intervenir una vía que la atravesase de norte a sur para implementar un carril exclusivo de buses, por ejemplo a lo largo de la carrera 11. Para la Zona 2 se podría

pensarse en la peatonalización de ciertos carriles de la carrera séptima y la implementación de un ciclo-carril de la carrera 13.

Estas medidas promueven el cambio modal y mejoran el espacio público. Así mismo, permitiría mejorar las condiciones de red para reducir el riesgo de accidente en la zona intervenida, considerando la reducción del volumen vehicular y manteniendo la velocidad del flujo.

---

## ANÁLISIS DEL CASO DE ESTUDIO DE BOGOTÁ

Según el objetivo que busca un esquema de cobro por congestión, las implicaciones en la ciudad, su movilidad y la sociedad varían considerablemente. Para el caso en el que se quiera maximizar el recaudo por el peaje, objetivo 2, se reduciría la demanda de manera importante en las dos zonas de análisis y por consiguiente se lograría un aumento considerable en la velocidad promedio de la zona. Aunque la reducción de la demanda en términos porcentuales es similar para las dos zonas, la reducción de kilómetros recorridos de transporte privado en valor absoluto, es mucho mayor para la zona más grande, la zona 2. Cabe resaltar que en ambas zonas se obtendría más dinero del cobro por congestión respecto al recaudo logrado en la búsqueda de la congestión óptima. Sin embargo se estaría incurriendo en una pérdida de eficiencia. Esta pérdida de eficiencia es menor en la zona más pequeña, pero en los dos casos es importante y supera más de un 50% del beneficio neto generado a la sociedad por el cobro, lo que ilustra que la búsqueda de una maximización del recaudo siempre conlleva un uso ineficiente de la infraestructura, entendido también como una pérdida para la sociedad.

Por el contrario, al perseguir el objetivo que permita un uso de la infraestructura al óptimo social, se lograría una asignación de recursos más eficiente que minimiza los costos asociados a la congestión. Los esquemas formulados bajo este objetivo generarían beneficios, en términos de reducción de tiempo de viaje, únicamente a los usuarios de la infraestructura vial, que continúan utilizando este modo de transporte después del cobro, beneficiándolos por una menor congestión. Como era de esperarse, los resultados de este ejercicio evidenciaron que el beneficio neto que obtendría la sociedad con la implementación del cobro, son más importantes para la zona de mayor tamaño que reduce en mayor el costo de la congestión para la sociedad. Sin embargo, en los dos casos los usuarios del vehículo privado internalizan los costos que generan a la sociedad por el uso del automóvil y en ningún caso ocurre una pérdida de eficiencia como pasaba en la búsqueda del objetivo 2.

Por otro lado, en la búsqueda de una movilidad más sostenible para Bogotá es de considerar que estos beneficios obtenidos por la implementación del cobro por congestión puedan utilizarse para incentivar modos de transporte más sostenibles, mientras que el costo individual del vehículo privado se mantiene constante (en vez de reducirse por el aumento de la velocidad de la red). En este sentido, el espacio que dejan de ocupar los vehículos en las vías, generado por el cobro podría, utilizarse para implementar infraestructura nueva que promueva en mayor medida el uso de modos de transporte alternativos como son el transporte público, la bicicleta y la caminata. En el mismo sentido, el recaudo por el cobro podría destinarse al mejoramiento de la infraestructura, operación y mantenimiento de aquellos modos de transporte que se desean incentivar, generando de esta manera unas opciones de transporte más sostenibles y atractivas para la sociedad.

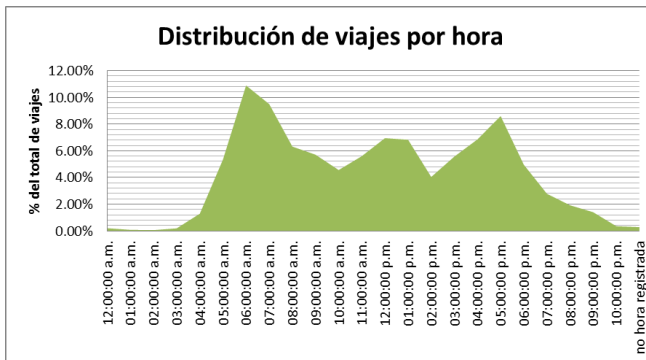
Existen diversos factores influyentes en la dinámica de la implementación y operación de un cobro por congestión que no se tomaron en cuenta en el análisis. Por ejemplo, habría que analizar el tipo de tecnología que se implementaría para poder controlar el ingreso de los vehículos a la zona de cobro y la posibilidad de

realizar excepciones de cobro a determinados usuarios. Por otro lado, de acuerdo a los histogramas de flujo vehicular que se obtuvieron para cada zona, al tener un flujo más concentrado en las horas pico de la mañana y de la tarde, se podría considerar una situación tarifaria diferenciada temporalmente, lo cual podría traer resultados diferentes a los ilustrados en este ejercicio y más cercanos al óptimo social. Así mismo, se hace fundamental realizar una evaluación económica y financiera de un sistema de cobro y las medidas alternativas a éste, de manera previa a seleccionar esta medida, para alcanzar los objetivos de movilidad de la ciudad, pues de esta manera se seleccionará el proyecto más viable y efectivo para solucionar la situación de congestión de la ciudad.

En el presente documento, se presentaron dos casos de estudio concretos de tarificación zonal por congestión en la ciudad de Bogotá, al contrastar los resultados de ambas zonas bajo los diferentes esquemas, se puede observar cual puede ser el impacto de cada combinación, el cual advierte los diferentes efectos que puede llegar a traer un esquema en específico. Al formular una solución a la problemática de la congestión es necesario evaluar la mayor cantidad de efectos posibles que éste tendría sobre la sociedad para así tomar decisiones bien informadas. Por último, es fundamental considerar que en la ciudad de Bogotá la congestión no es un problema exclusivo del número de vehículos, sino que existen otros factores del sistema de transporte que contribuyen a agravar la situación actual. Por consiguiente, la solución a la situación actual de congestión en Bogotá no depende únicamente de sacar vehículos de las vías, sino que se hace necesaria la inclusión de medidas complementarias para lograr mitigar los efectos negativos de la congestión en la ciudad. Es decir, que una mejora significativa de la movilidad de la ciudad no se va a lograr por la implementación de una medida aislada, sino que se deberá considerar una solución integral que considere todo los componentes del sistema de transporte.

## ESTUDIO DE CASO: CALI

Cali es la capital del departamento del Valle del Cauca en Colombia y la tercera ciudad más poblada del país, después de Bogotá y Medellín. Cuenta con una población de 2.2 millones de habitantes en la cabecera municipal y 36.584 en la zona rural (Cali en Cifras, 2011) con una densidad poblacional de 4100 habitantes por kilómetro cuadrado, la producción económica de la región representa alrededor del 10% del PIB y el PIB per cápita es 1% más alto que el de la nación en general.

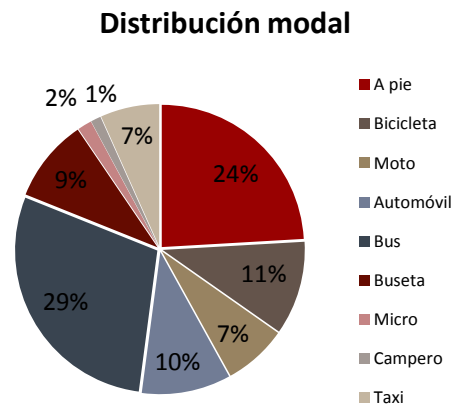


**Figura 37 Distribución de viaje por hora en un día típico para Cali.**  
Fuente: DAPM, Universidad del Valle 2009

Según la encuesta de (PLAMACIR, 2005) en Cali se presentan 3.1 millones de viajes en un día típico. La distribución temporal de los viajes se caracteriza por la presencia de tres periodos pico (Figura 37), el primero entre las 6:00-7:00am que corresponde a la hora inicio de las actividades, el siguiente entre 12:00-2:00pm que corresponde a desplazamientos de hora de almuerzo y el último entre las 5:00-6:00pm que se relaciona con la hora final de las actividades y el retorno al hogar. El máximo es en las horas de la mañana debido a la exigencia que se tiene con el inicio de las

actividades concentrando el 25% del total de viajes diarios, a diferencia de las salidas las cuales tienden a ser más flexibles, a nivel general en los periodos picos se realiza 60.3% de los viajes diarios. También, se puede resaltar dos periodos valle entre las 10 y 11 am y las 2 y 3pm.

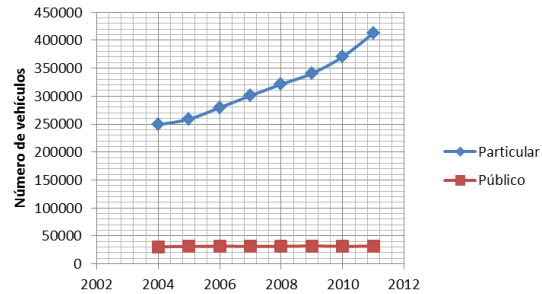
En la Figura 38, se observa la distribución modal de los viajes. El 34% de los viajes son no motorizados, el 42% son en transporte público colectivo y apenas el 17% se realizan en vehículos privados (automóviles y motos). En cuanto al motivo del viaje, se observa que la mayoría de los desplazamientos se producen cuando las personas regresan a su hogar, y cuando se dirigen al trabajo; estos dos propósitos de viaje representan aproximadamente el 70%. En promedio, cada habitante viaja 1.03 veces al día fuera del hogar, en cualquier modo y con cualquier propósito (DAPM, 2012). La concentración horaria y de motivos de viaje también se da en términos de destinos, dirigidos al centro de la ciudad, reflejando a Cali como una ciudad monocéntrica.



**Figura 38 Distribución modal Cali**  
Fuente: DAPM, Universidad del Valle 2009

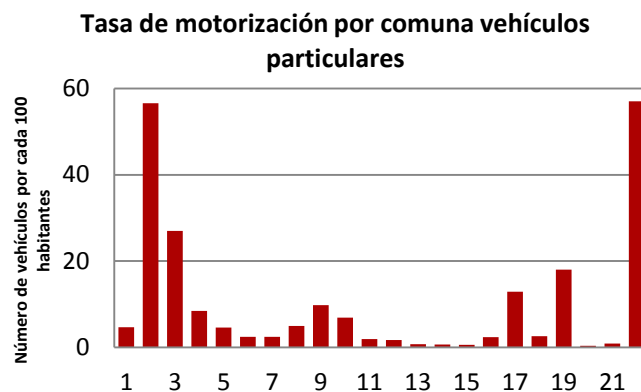
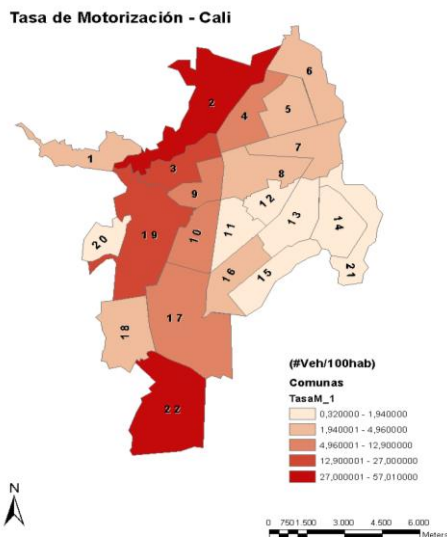
Según los datos del Centro Automotor del Valle, se evidencia un crecimiento significativo del parque automotor de la ciudad de Cali, teniendo que en el 2011 circulan 412.663 vehículos particulares, seguido por 31.596 vehículos de servicio público. En los últimos años se registra un porcentaje de crecimiento entre 8.76% a 11.36%, obedeciendo a un comportamiento más exponencial que lineal, tal como se muestra en la Figura 39.

Cabe resaltar que el parque automotor se duplicó en la última década en la ciudad de Cali. Con respecto a las motos, se ha evidenciado un aumento considerable, ya que en el año 2002 había 65.880 motos registradas y a la fecha se estima 280.000 motos registradas, valor muy similar a la cantidad de vehículos particulares.



**Figura 39 Crecimiento del Parque automotor en Cali Fuente: (DAPM. 2012)**

En la Figura 40, se presenta la tasa de motorización para cada comuna, donde se observa que las comunas con tasa de motorización más altas son la 2, 3, 17, 19 Y 22, teniendo en cuenta que la comuna 3 corresponde a la ubicación de oficinas y negocios, mientras que la comuna 2 se asientan un gran número de empresas concesionarias. A nivel general, para Cali hay una tasa de motorización de 8.55 vehículos por cada 100 habitantes, equivalente a decir que existe un vehículo por cada 10 personas sin incluir las motocicletas.



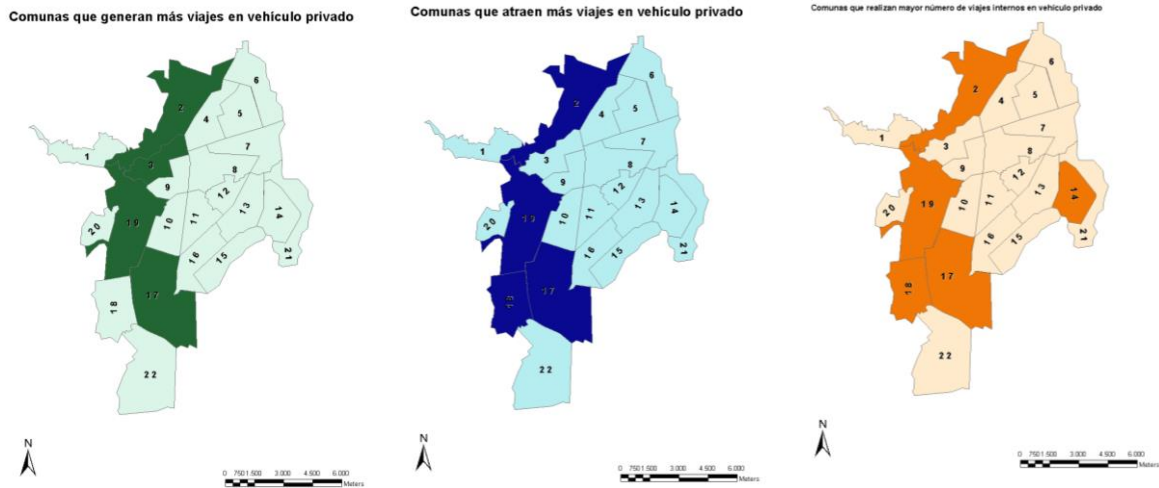
**Figura 40 Tasa de motorización espacial por comuna. Fuente: Elaboración propia a partir de (DAPM, 2012)**

De acuerdo al análisis por edad, el 55% de la población está entre las edades 15 y 49 años, donde se caracterizan por ser los mayores generadores de viajes en automóviles, como conductores o como acompañantes (DAPM, 2012). Sin embargo, hay que tener en cuenta que esta clase de viajes es prácticamente exclusiva de los estratos altos. Es importante resaltar, que la propiedad de vehículos particulares se concentra apenas en el 16,3% de la población, que corresponde a 365.860 habitantes, concentrada en las Comunas 2, 17, 19 y 22.

Acorde con la encuesta realizada en 2005 para el Plan Maestro de Ciclo-Rutas, se obtuvo la matriz OD de viajes en todos los modos a todos los propósitos, de la cual se puede resaltar que las comunas que mayor generan viajes en un día normal por encima de los 200.000 sobre el total son la 2 (7.9%), 5 (6.9%), 6 (7.4%), 15 (7.0%), y 19 (8.9%). Con mayor atracción de viajes se presentan las comunas 2 (7.5%), 3 (11.9%), 16 (7.2%), y 17 (7.1%). Los viajes internos (dentro de la misma Comuna) son especialmente representativos (más de 50.000) en las Comunas 5 (2.8%), 6 (2.5%), 13 (2%), 14 (3.1%), 15 (2.5%), 17 (1.8%), y 18 (1.9 %), según (DAPM, 2010).



Analizando más en detalle los viajes en automóvil a todos los propósitos, se puede resaltar que estos viajes representan el 10% del total de viajes diarios, tienen su mayor generación (más de 20.000) en las Comunas 2 (11.63%), 17 (11.98%), 18 (8.38%) y 19 (15.91%). A su vez tienen mayor atracción los municipios vecinos (7.41%), la Comuna 2 (10,43%), 3 (9,36%), 17 (13,83%), y 19 (13,22%). Los viajes internos son especialmente significativos en las Comunas 2 (6.792), 14 (7.816), 17 (7.747), 18 (8.148), y 19 (14.123). Con respecto a los taxis, se conoce que representan el 0,7% del total de viajes y tienen en las Comunas 2 (20,21%), 17 (10,89%), y 17 (12,30%) la mayor generación, y en las Comunas 2 (12,23%), 3 (15,86%), 10 (16,46%), 17 (11,22%) y 19 (10,10%) la mayor atracción. En la Figura 41 se observa espacialmente la mayor generación, atracción y viajes internos del modo privado.



**Figura 41 Generación, atracción y viajes internos de las comunas más representativas en modo privado Fuente: Elaboración propia a partir de (DAPM, 2010)**

Por lo tanto, los principales pares origen-destino del automóvil y el taxi se concentran entre las comunas 2, 3, 17 y 19 representando el 68.3% de los viajes entre ellas. Sabiendo que la comuna 3 es la que tiene mayor atracción de viajes a trabajo y a diligencias con un 14.81% y 18.75% respectivamente y la comuna 17 es la que tiene mayor atracción de viajes a recreación con un 14.18%. Hay que tener en cuenta que la Encuesta Domiciliaria, realizada antes de iniciarse la implementación del Sistema MIO (2.005), refleja un patrón de movilidad con especial importancia en la atracción de viajes de las Comunas 2, 3 y 19, en las cuales se asientan las actividades terciarias más representativas a nivel urbano.

Por otro lado, la Encuesta muestra por medio del análisis de las matrices de tiempos de viajes por modo de transporte a todos los propósitos, que el tiempo promedio de viaje en automóvil es de 34.23 minutos y la velocidad promedio de viaje oscila entre 25 y 30 km/h.

Durante los últimos años, se ha evidenciado en la ciudad de Cali un aumento en los tiempos de viaje del transporte público colectivo, el transporte privado y el taxi, debido a un incremento del nivel de congestión. Sin embargo, comparando con la situación de congestión de otras ciudades como Bogotá o Ciudad de México, la situación de Cali no es tan crítica, reflejándose en que el promedio de velocidad en hora pico de la mañana es 26 km/h mientras que en otras ciudad no sube más de 17km/h.

Este aumento en la congestión, se atribuye en gran parte a un aumento acelerado del parque automotor de la ciudad, al anacronismo de la semaforización y su mala coordinación, al estacionamiento en vía y a la actividad de cargue y descargue de camiones, al mal estado de la capa de rodadura de algunas vías, a la falta

de capacidad vial, formación de embudos y gargantas en accesos a vías, a la circulación de tráfico pesado, a la presencia de obras de infraestructura y finalmente a una falta de planeación integrada entre los usos del suelo y la movilidad.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que Cali ha implementado diversas medidas que han permitido mitigar las externalidades negativas del exceso de tráfico. Por un lado, en el año 2009 inició la operación del sistema de transporte masivo rápido en buses *MIO*, que circula por carriles segregados del tráfico mixto desligando así a los usuarios de transporte público de los problemas de congestión de la ciudad. Sin embargo, es de mencionar que en la actualidad, el transporte público colectivo que circula en tráfico mixto, sigue movilizando a la mayoría de usuarios de transporte público los cuales se siguen viendo afectados por la situación de congestión de la ciudad. Por otro lado, y con el objetivo de reducir el volumen vehicular en la malla vial de la ciudad, se implementó en 2005 la medida *Pico y Placa*, que consiste en una restricción de la circulación de los automóviles en ciertos días de la semana y a ciertas horas del día según la placa de los vehículos. Esta medida está actualmente en funcionamiento y sólo se aplica en días hábiles. En la actualidad se restringe la circulación de los automóviles de 7:00AM a 10:00AM y de 5:00PM a 8:00PM. La restricción se realiza de acuerdo al último número de la placa de los vehículos dependiendo del día de la semana: lunes (3 y 4), martes (5 y 6), miércoles (7 y 8), jueves (9 y 0) y viernes (1 y 2). Otra medida es la implementación de políticas de parqueo y estacionamiento que se ha venido dando en la ciudad, buscando la solución a la ocupación indebida del espacio público, por medio de la imposición de comparendos a vehículos mal estacionados.

A pesar de la situación de congestión que se vive en la ciudad de Cali y con las medidas mencionadas anteriormente ya implementadas, se puede resaltar que la medida *Pico y Placa* afecta a todos los usuarios del automóvil que viajan en diferentes momentos del día, tanto a los que causan congestión y a los que no, lo que resulta en una medida inequitativa. Sin embargo, la restricción sólo tiene una duración de 6 horas semanales que se concentran en un día, lo que la hace menos restrictiva como se ve en otras ciudades del país como Bogotá o Medellín. Por otro lado, hay que resaltar que el *Pico y Placa* es una medida que ha generado costos de implementación y de operación, pero no recauda fondos por lo que no goza de sostenibilidad financiera, lo que es una desventaja importante considerando los escasos recursos del sector y de la ciudad, así como otras necesidades de inversión más inmediatas.

De acuerdo a lo anterior, se puede considerar la implementación de otras medidas de gestión de la demanda que sean más eficientes y en lo posible que tengan una sostenibilidad financiera que las soporte. Se puede plantear el cobro por congestión como una medida complementaria a la política de estacionamiento que se ha venido aplicando en Cali, de tal manera que desplace la medida de pico y placa anteriormente descrita y se genere conciencia del uso del automóvil. Por lo tanto, el alcance para este caso de estudio es identificar posibles zonas o corredores para aplicar un cobro por congestión el Cali.

## OBJETIVOS DE COBRO POR CONGESTIÓN EN CALI

Los esquemas de cobro por congestión pueden ser formulados y diseñados buscando diferentes objetivos y dependiendo de éstos se obtendrán distintos resultados.

Para el caso de estudio de Cali, un primer objetivo del cobro por congestión es obtener recursos sin incurrir en una pérdida de eficiencia, de tal manera puedan ser invertidos en las prioridades establecidas en la ciudad buscando una movilidad sostenible. El segundo objetivo es lograr disminuir la congestión en la ciudad para mejorar la movilidad de los usuarios, disminuyendo los tiempos de viaje. Y finalmente el último

objetivo, busca la pacificación de tráfico en las zonas más congestionadas de Cali, ya que hay una alta frecuencia de peatones, por lo tanto se quiere dar prioridad a estos en espacios públicos.

## ZONAS POTENCIALES PARA UN COBRO DE PEAJES POR CONGESTIÓN

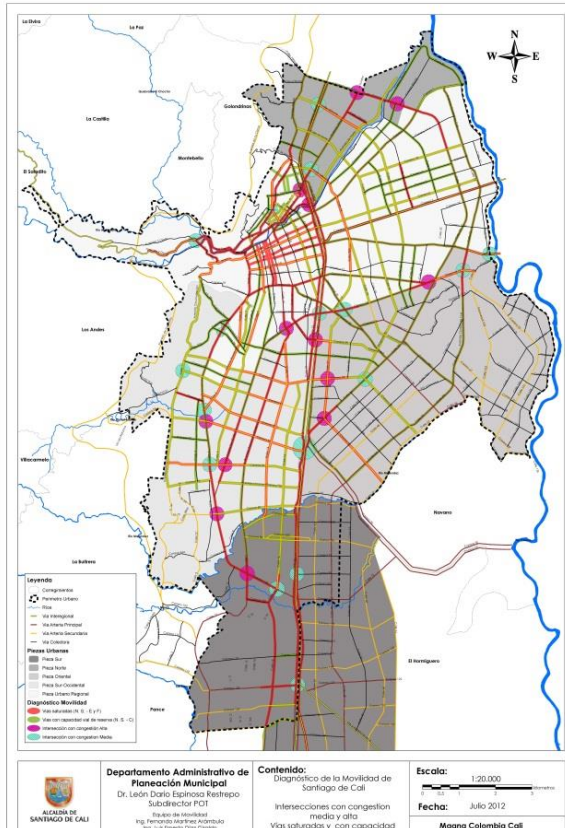


Figura 42 Identificación de intersecciones con congestión media y alta, y vías saturadas en Cali.

Fuente: DAPM 2013

Luego de un análisis sobre la congestión de Cali, se logró identificar las intersecciones de alta y media congestión, así como las vías saturadas y con capacidad vial de reserva. En la Figura 42, se puede identificar espacialmente la ubicación de estas zonas y corredores, donde a primera vista se observa una distribución por toda la ciudad de las intersecciones que presentan congestión alta y media, áreas rosadas y verdes respectivamente, también se observa los corredores más saturados (corredores rojos) y las vías con capacidad vial de reserva (corredores verdes). Por lo tanto, establecer una sola zona de congestión no es viable para la ciudad, sino que se puede considerar establecer corredores críticos en los cuales se pueda implementar el cobro, como la Autopista Sur entre Calles 23 y 26 o Avenida Pasoancho entre Carrera 44 y 56.

Ahora bien, es importante considerar el estudio de otras alternativas de gestión de la demanda previo a la decisión de implementar un cobro por congestión por medio de un análisis económico que permita identificar la medida más conveniente para la ciudad. Si esta llegara a ser un cobro por congestión, hay que tener en cuenta los aspectos institucionales para que haya una ejecución y operación exitosa, también la

aceptabilidad del público, por medio de la implementación de medidas complementarias, como tener un buen sistema de transporte público que satisfaga la demanda, y promover la solución de otras causas de la congestión como la mala coordinación del sistema semafórico, capacidad vial o daños en la infraestructura vial.

### DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

Desde el momento que se está considerando en una ciudad la implementación de un sistema de cobro por congestión, es fundamental establecer los objetivos de la medida. La planeación, el diseño, las características del sistema, la socialización, la aceptabilidad, la implementación y los resultados de la medida, están ligados de manera directa al establecimiento claro y oportuno de los objetivos.

Partiendo de la teoría económica de la congestión, explicada en capítulos previos, es lógico pensar que un sistema de cobros por congestión podría estar soportado en un objetivo que busque un nivel de congestión óptima, para el cual los usuarios de las vías internalicen, por medio de un peaje, el costo que generan a la sociedad en términos de tiempos de viaje por el uso de las vías. En este sentido, uno de los objetivos de la medida puede ser la reducción de tiempos de viaje de usuarios del vehículo privado, logrado por la reducción del flujo vehicular y la velocidad promedio hasta el punto de congestión óptima, que resulta en un beneficio social.

Sin embargo, la medida de cobro por congestión puede desarrollarse para un alcance más amplio basado en el logro de objetivos ambientales, sociales y financieros que fundamenten la adopción de un sistema de cobro por congestión como un elemento de la política de transporte de la ciudad.

En este sentido el logro de una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, es un cobeneficio deseable del cargo por congestión. Es posible formular un esquema de cobro por congestión que permita contribuir con la reducción de emisiones en el marco de una política integral de protección del ambiente.

Por otro lado, el uso de modos de transporte más sostenibles que el automóvil, es otro objetivo deseado para las ciudades y es posible impulsarlo por un sistema de cobro por congestión. Este efecto se puede potenciar si se realizan medidas complementarias que permitan mejorar las características de las alternativas de transporte y promuevan un uso eficiente del vehículo privado (ej. Carro compartido).

En términos de equidad, sólo es posible hacer del cobro por congestión una herramienta para beneficiar a todos los individuos, si éste está enmarcado en una política integral de mejoramiento de los modos alternativos al vehículo particular. En búsqueda de una ciudad equitativa existe la posibilidad de realizar una transferencia de beneficios entre modos, para el cual los ingresos generados por el recaudo del cobro por congestión pueden ser invertidos en adecuar la infraestructura para que sea utilizada por modos alternativos al automóvil. Es decir, que el espacio de vía ganado, por medio del cobro, se puede utilizar para acomodar infraestructura de transporte público o espacio público para modos no motorizados, transfiriendo los beneficios que obtendrían los vehículos privados a otros modos.

La confiabilidad del tiempo de viaje es otro objetivo a considerar a la hora de estructurar un esquema de cobro por congestión. La capacidad de planear un viaje con un nivel de certeza razonable respecto al tiempo de llegada al destino es de suma importancia para los ciudadanos. Inclusive, es de considerar que es preferible un aumento en la confiabilidad del tiempo de viaje que en la misma velocidad. El diseño de un sistema de transporte de la ciudad que sea confiable puede impulsarse por un sistema de cobro por congestión, no solo al reducir la congestión sino al invertir los recursos obtenidos por el cobro en otras medidas que mejoren la confiabilidad tanto del transporte privado como del público.

Por otro lado, vale la pena tener en cuenta una mejora en el entorno urbano como un objetivo del esquema de cobro por congestión. La reducción de la congestión, que va de la mano con la reducción de las emisiones y el ruido en la zona de cobro contribuyen a mejorar el entorno en la misma. Además de esto, como medidas complementarias para el logro de este objetivo se puede pensar en la construcción de un entorno urbano con espacios públicos educadores, en el que se priorice y proteja al peatón y al ciclista, que incluya espacios que los peatones puedan utilizar y disfrutar en condiciones seguras, de tal manera que se logre una zona más atractiva y se mejore la calidad de vida de la población.

Por último, en cuanto a los ingresos por recaudo que el operador del sistema obtendría, es posible pensar en el esquema de cobro como una fuente de recursos financieros para la ciudad. Sin embargo, se debe tener en cuenta la inversión inicial y los costos de operación del tipo de sistema a implementar, para evaluar la posibilidad de utilizar el sistema como una fuente de ingresos.

## ACEPTABILIDAD DEL PEAJE DE CONGESTIÓN

Un aspecto importante a tener en cuenta al momento de diseñar e implementar un cobro por congestión es que en la práctica no se cumplen las condiciones ideales que supone un modelo teórico. Puesto que existen restricciones y barreras que impiden que el escenario ideal del cobro por congestión se pueda llevar a cabo, como problemas con la aceptabilidad ciudadana. A continuación se presenta los principales argumentos que van en contra de un peaje por congestión:

### Argumentos en contra del peaje de congestión

- Los beneficios no son percibidos por los usuarios una vez es implementada la medida
- Ya se está pagando algún impuesto relacionado con el vehículo privado, de tal manera que si se implementa esta medida se va a sentir un doble pago con un mismo motivo.
- No hay una redistribución efectiva de beneficios, es decir que los usuarios de los corredores afectados no participan directa o indirectamente de los fondos recaudados, lo que disminuye su bienestar
- Las personas residentes y comerciantes de las zonas o corredores elegidos no se tienen en cuenta en la decisión de implementar la medida y son afectados directamente por esta.
- El peaje por congestión genera inequidad, ya que los primeros en dejar de usar el carro son los grupos de menores ingresos.
- Las alternativas de transporte diferente al vehículo privado son vistas como inadecuadas o insuficientes para los usuarios, por ejemplo mal servicio del transporte público
- La percepción de los usuarios con respecto a la congestión dependiendo del contexto en el que se encuentren, por lo que su disponibilidad a pagar varía con respecto a esto.

En conclusión, para lograr una óptima aceptabilidad ciudadana frente a la medida de cobros por congestión, se debe considerar un plan estratégico para la inversión de los fondos recaudados buscando el bienestar común de todos los usuarios, ya sea en infraestructura para el sistema de transporte o para modos no motorizados. También se debe proveer información de la medida en la cual se especifique su objetivo y funcionamiento y los beneficios que traerá a la sociedad. Por lo tanto, la implementación exitosa de un cobro por congestión depende en última instancia del apoyo político y la aceptación del público. Cualquier cargo económico adicional a un modo de transporte será visto desde una perspectiva negativa si es

mostrado al público como una simple carga adicional en lugar de una contribución para mejorar la calidad del aire, el desarrollo económico y la equidad social.

## INVERSIÓN DE RECURSOS RECAUDADOS

En el caso que se obtengan excedentes del recaudo por el sistema de cobro por congestión, después de suplir los costos asociados a su operación y mantenimiento, es importante tener claridad sobre la forma en que se invertirán estos recursos. La decisión sobre la inversión del excedente es fundamental en el alcance de los objetivos planteados para el sistema de cobro y de esta manera en la aceptación pública y éxito de la medida.

La forma típica de invertir estos recursos está asociada a la mejora de las condiciones del transporte privado. Esto resulta en recursos destinados para el mantenimiento y expansión de la red vial, mejora del sistema de gestión de tráfico, y de manera general inversión en nuevas medidas que reduzcan la congestión de tráfico y mejoren los tiempos de viaje y la confiabilidad de este modo de transporte.

Sin bien lo anterior es deseable, es de considerar que el éxito y aceptación de la medida de cobro por congestión depende, en gran medida, de la existencia de alternativas de transporte de calidad. En este sentido, la inversión en transporte público, modos no motorizados y espacio público es de suma importancia.

Mencionado lo anterior, no es cuestión de decidir si se debe invertir en la mejora del transporte privado o público, sino de lograr una inversión de recursos integral que contribuya al alcance de un desarrollo sostenible del sistema de transporte y de la ciudad, visible para la ciudadanía

## ASPECTOS INSTITUCIONALES

Un sistema de cobro por congestión debe estar soportado por un compromiso político fuerte y un conjunto de instituciones con capacidad suficiente para el diseño, implementación, ejecución, gestión y control de la medida, de tal manera que la misma logre ser exitosa (Schwaab & Thielmann, 2002). La dependencia que tienen los proyectos de transporte de los factores políticos, la falta de una continuidad en la política de transporte y la debilidad institucional, puede aumentar el riesgo de fracaso en la implementación de un cobro por congestión en las ciudades colombianas.

En este sentido, es pertinente cuestionar y resolver las necesidades institucionales requeridas para la implementación adecuada y exitosa de un cobro por congestión. En primera instancia, es fundamental designar una autoridad que tenga la responsabilidad de asegurar y responder por una planeación, implementación y gestión exitosa del proyecto. El tipo de autoridad delegada dependerá de los niveles de gobiernos involucrados, la capacidad y experiencia de las instituciones, la experiencia de la autoridad en la materia y la vulnerabilidad de las instituciones gubernamentales ante factores políticos. De la misma

manera, se debe designar la entidad o conjunto de entidades encargadas de operar y controlar el sistema, realizando esfuerzos importantes para mantenerlas coordinadas entre sí y con la estrategia de transporte de la ciudad.

Para asegurar el correcto funcionamiento e integración de las diversas entidades involucradas en el sistema de cobro de la ciudad, es fundamental definir de manera clara sus roles, responsabilidades y poderes, la manera cómo van a interactuar entre si y como se interrelacionan. De la misma manera se hace fundamental la despolitización de las entidades asociadas al cobro de congestión, de tal manera que no se incurra en cambios de personal y/o proyectos ante cambios políticos en las ciudades. Por último, es esencial un continuo fortalecimiento de la capacidad institucional y la coordinación de las autoridades en cuestión, asegurando así la continuidad del proyecto y el potenciamiento de los beneficios asociados a la medida.

## POLÍTICA INTEGRAL



La experiencia internacional demuestra que para inducir y potenciar beneficios asociados a la implementación de un cargo por congestión es necesario complementarlo con una política integral, en la cual se involucren los principales elementos del sistema de transporte. Como ya se mencionó, el transporte público es uno de estos elementos que permitiría generar cobeneficios de equidad, eficiencia del sistema, reducción de tiempos de viajes y de emisiones, entre otros. La oferta de transporte público para los individuos que se ven afectados por el cobro por congestión representa la principal alternativa al uso del vehículo particular, si esta no se mejora es posible que el incremento en pasajeros traiga problemas de capacidad en el sistema existente desmotivando el cambio modal, reduciendo el nivel de servicio y probablemente transfiriendo la congestión al interior de los vehículos de transporte público. Por todo lo anterior, es de gran importancia realizar mejoras sustanciales al transporte público para maximizar los efectos positivos del cargo por congestión.

Por otro lado, existen medidas complementarias para la gestión de la demanda de transporte privado que permiten obtener resultados más cercanos a los deseados; principalmente, la política de parqueaderos es un elemento fundamental para lograr mejores resultados, puesto que la tarifa de los parqueaderos también hace parte del costo generalizado de transporte y podría ayudar a determinar, junto con el cargo por congestión, un mayor cambio en el comportamiento de los usuarios del sistema de transporte. Además, la implementación de parqueaderos disuasorios (Park and Ride) de manera estratégica impulsaría a los usuarios a realizar el viaje de forma multimodal, utilizando el vehículo particular fuera de la infraestructura congestionada y el transporte público dentro de ella.



Adicionalmente, la mejora de la infraestructura para los modos no motorizados trae beneficios relacionados con el aprovechamiento del espacio público y la mejora del entorno urbano para todos los individuos que transitan por la zona intervenida, lo cual podría persuadirlos de utilizar estos modos para desplazarse dentro de ella. Asimismo, esta medida podría traer un beneficio en reducción de accidentes que involucran peatones y ciclistas, ya que el mejoramiento de la infraestructura se debería aprovechar



para prevenir conflictos y situaciones riesgosas entre todos los modos de transporte.

Por otro lado, es de considerar la importancia de la cultura ciudadana para alcanzar un cambio de comportamiento de los ciudadanos a uno más sostenible y seguro. Es posible que sea necesario conseguir un cambio cultural antes de implementar un cobro por congestión para asegurar su aceptabilidad y éxito.

Como se mencionó en capítulos previos, la congestión no es exclusivamente un tema de cantidad de vehículos en las vías, sino que existen otras causas que no son solucionadas por un esquema de cobros por congestión. Por lo tanto, su solución no depende únicamente de sacar vehículos de las vías, sino que se hace necesaria la inclusión de medidas complementarias para mitigar los efectos de la congestión en las ciudades colombianas.

Formular medidas complementarias resulta tan importante como formular el esquema en sí, puesto que de éstas puede depender el éxito o fracaso del cargo por congestión a diferentes niveles.



## CONCLUSIONES

- Desde la teoría económica, los cobros por congestión son una medida efectiva para internalizar los costos relacionados con la congestión generados por los vehículos privados en las ciudades, con el fin de dar un uso óptimo a la infraestructura vial existente.
- Existen múltiples esquemas para implementar un cobro de este tipo, desde zonas de cobro hasta cobro por cordones, los cuales pueden estar soportados por distintas tecnologías de cobro que se adaptan a los objetivos que cada ciudad se plantee.
- El éxito de una medida de gestión de la demanda del vehículo privado como el cobro por congestión, depende de la capacidad de implementación de la autoridad encargada. La capacidad institucional es fundamental para asegurar una puesta en marcha adecuada y exitosa de los cobros por congestión.
- Los objetivos de un cobro por congestión no deben limitarse a la velocidad de los vehículos particulares. La planeación de un sistema de cobros por congestión debe partir del hecho que un cobro por congestión permite cumplir objetivos que van más allá de mejorar la movilidad del vehículo privado.
- La implementación de un esquema de cobro por congestión debe estar enmarcada en una política integral de movilidad sostenible de tal manera que impulse la consecución de los objetivos del proyecto y de la estrategia de movilidad de la ciudad. Esto implica que de manera previa y simultánea a la implementación de un sistema de cobro, las falencias existentes del sistema de movilidad deben ser atendidas, particularmente en el transporte público y el no motorizado.
- Es fundamental alinear los objetivos del sistema de control de congestión con los objetivos de movilidad de la ciudad. La planeación, el diseño, las características del sistema, la socialización, la aceptabilidad, la implementación y los resultados de la medida, están ligados de manera directa al establecimiento claro y oportuno de los objetivos.
- La comunicación con el público es esencial para lograr una puesta en marcha exitosa del proyecto. En las ciudades donde no ha sido posible iniciar un cobro por congestión la poca aceptabilidad de la medida por parte de la población ha sido el obstáculo principal.
- La congestión en las ciudades no es un problema exclusivo de la cantidad de vehículos en la malla vial y por lo tanto su solución no depende de la implementación de una medida aislada, sino que se deberá considerar una solución integral que incluya todo los componentes del sistema de transporte.
- El nivel de congestión y sus causas difieren de ciudad a ciudad. Es por lo tanto que se hace necesario evaluar para cada caso si existen mejores alternativas a un sistema de cobro por congestión, como una política de estacionamientos, sistemas inteligentes de transporte o el mejoramiento del transporte público.
- El uso de los recursos recaudados por medio del cobro debe definirse de tal forma que complemente los objetivos del cobro. Es importante tener en cuenta que la definición de la tarifa a cobrar no debe buscar maximizar el recaudo sino optimizar el uso de la infraestructura existente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Elisabeth Utsch; Michael A. McAdams. (2007). *Congestion Pricing – Advantages and disadvantages. Shown at example of London. Applicable to Istanbul?* Istanbul : Fatih University,.
- Arnott , R., & Inci, E. (2006). An integrated model of downtown parking and traffic congestion. *Journal of Urban Economics* , 418-442.
- Banister, D. (2003). Critical pragmatism and congestion charging in London. *ISSJ* , 1-17.
- Bilbao-Ubillos, J. (2008). The costs of urban congestion: Estimation of welfare losses arising from congestion on cross-town link roads. *Transportation Research Part A* , 1098-1108.
- Börjesson, M., Eliasson, J., Hugosson, M. B., & Brundell-Freij, K. (2012). The Stockholm congestion charges-5 year on. Effects, acceptability, and lessons learnt. *Transport Policy* , 20, 1-12.
- Broadbuss, A., Litman, T., & Menon, G. (2009). *Gestión de la Demanda de Transporte* . Eschborn.
- Cali en Cifras. (2011). Cali: Departamento Administrativo de Planeación Municipal.
- CCB, C. d. (2010). *Observatorio de Movilidad*. Bogotá.
- CPG Consultants. (2012). *Bogota Travel Demand Management Strategies And Action Plan*. Singapore.
- DAPM. (2010). *AJUSTE EXCEPCIONAL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, COMPONENTE DE VÍAS, TRÁNSITO Y TRANSPORTE*. CALI.
- DAPM. (2012). *Componente de Movilidad urbana y rural en la revisión y ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Cali*. Cali.
- de Rus, G., Campos, J., & Nombela, G. (2003). *Economía del transporte*. Barcelona: Antoni Bosch S.A.
- Dix, M. (2002). *The Central London Congestion Charging Scheme - From Conception to Implementation (Draft)*. London: Imprint Europe.
- Evans, J., Bath, K., & Turnbull, K. (2003). *Road Value Pricing. Traveler Response to Transportation Systems Changes*. Washington D.C.: Transportation Research Board.
- FHWA (Federal Highway Administration). (2008). *Technologies that Complement Congestion Pricing*. Washington, D.C.
- FHWA (Federal Highway Administration). (2008). *Technologies That Enable Congestion Pricing*. Washington, D.C.
- Geertje Schuitema , Linda Steg , Sonja Forward . (2010). Explaining differences in acceptability before and acceptance after the implementation of a congestion charge in Stockholm. *Transportation Research Part A* , 99-109.
- Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional-SUR. (2008). *Modelo macroscópico de tráfico de Bogotá* . Bogotá: Universidad de los Andes.

- Iseki, H., & Demisch, A. (2012). Examining the Linkages Between Electronic Roadway Tolling Technologies and Road Pricing Policy Objectives. *Research in Transportation Economics* , 121 - 132.
- Jens Schade; Bernhard Schlag. (2003). *Acceptability of urban transport pricing strategies*. Dresden, Germany: Transport research Part F.
- McCarthy , P. S. (2001). *Transportation Economics*. Malden: Blackwell Publishers.
- Ortúzar, J., & Willumsen, L. G. (2001). *Modelling transport*. Gran Bretaña: John Wiley .
- Palma, A., & Lindsey, R. (2011). Traffic Congestion Pricing Methodologies and Technologies. *Transportation Research Part C* , 1377 - 1399.
- PLAMACIR. (2005). *Estudio Plan Maestro de Ciclo-Rutas* . Cali.
- Richards, M. G. (2005). *Congestion charging in London. The Policy and the Politics*. Londres: Palgrave Macmillan.
- Rivasplata, C. R. (2013). Congestion pricing for Latin America: Prospects and constraints. *Research in Transportation Economics* , 56-65.
- Saunders , J. (2005). The Rise and Fall of Edinburgh's Congestion Charging Plans. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers* , 193 - 201.
- Schwaab , J. A., & Thielmann, S. (2002). *POLICY GUIDELINES FOR ROAD TRANSPORT PRICING*. New York: United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP) & Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- Steer Davies Gleave. (2011). *Base de datos Encuesta de Movilidad de Bogotá*. Bogotá.
- Steer Davies Gleave. (2012). *Informe de indicadores Encuesta de Movilidad de Bogotá 2011*. Bogotá.
- Steer Davies Gleave. (2009). *Tarificación vial por congestión para la ciudad de Santiago*. Santiago de Chile: Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo.
- Steer Davies Gleave. (2009). *Tarificación Vial por Congestión para la Ciudad de Santiago*. Santiago de Chile.
- Swedish Transport Agency. (12 de Julio de 2010). *Congestion tax in Stockholm*. Recuperado el 4 de Febrero de 2013, de Swedish Transport Agency: <http://www.transportstyrelsen.se/en/road/Congestion-tax/Congestion-tax-in-stockholm/>
- The World Bank Group. (2008). *Road User Charges: Current Practice and Perspectives in Central and Eastern Europe*. Washington.
- Victoria Transport Policy Institute. (2006). *Gestión de la movilidad*. Eschborn: Manfred Breithaupt, Stefan Opitz, Karl Fjellstorm, Jan Schwaab.