



PROCURADURÍA AMBIENTAL  
Y DEL ORDENAMIENTO  
TERRITORIAL DEL D.F.

# **Diagnóstico de los aspectos relacionados con el acceso al espacio público en el Distrito Federal por parte de los vehículos particulares, como base para el diseño de un sistema que permita medir el derecho humano al espacio público, a través del referente de movilidad urbana.**

Doctor Amado Crôte Alvarado<sup>1</sup>  
Consultor

Marzo 2009

Documento elaborado para la Procuraduría Ambiental  
y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal. <sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Doctor con estudios en el Centro de Estudios de Transporte, Imperial College London, Reino Unido.

<sup>2</sup> Los comentarios y opiniones expresados en este estudio no necesariamente son compartidos por la PAOT y son responsabilidad del autor.



## Resumen

Con la finalidad de aportar parámetros técnicos al estudio y garantía del derecho individual y colectivo que tienen los habitantes del Distrito Federal de acceder al espacio público como bien colectivo, en este documento se analiza la experiencia de otros países en relación al uso de medidas cuantificables o parámetros de movilidad urbana. El presente documento también propone las bases para el diseño, prueba e implementación de un estudio piloto para generar un mecanismo de carácter precautorio a fin de salvaguardar el derecho de acceso al espacio público y de movilidad urbana, en apego a los derechos ambientales y territoriales de los habitantes del Distrito Federal.

El documento se divide en tres partes. La primera, presenta los aspectos generales de los mecanismos que se emplean para garantizar el acceso y uso equitativo de los espacios públicos para la movilidad urbana, poniendo especial énfasis en mecanismos cuantificables que desincentivan el uso excesivo del automóvil particular. Esta parte también presenta una descripción de los mecanismos que se encuentran operando en otros países. La segunda parte del reporte, analiza distintos experimentos piloto realizados alrededor del mundo, que predicen la efectividad de implementar un mecanismo de este tipo y garantizar de esta manera, el derecho individual y colectivo de acceso a los espacios públicos urbanos, específicamente a la red vial. Finalmente, en la tercera parte se presenta una propuesta técnica para realizar un estudio piloto en el Distrito Federal.



## Índice

Lista de tablas .....	5
Lista de figuras .....	5
Glosario de términos .....	5
Primera parte: Mecanismos para garantizar el derecho de movilidad urbana.....	6
1. Introducción.....	7
2. El derecho individual y colectivo de acceso al espacio público, el referente de la movilidad urbana .....	7
3. Mecanismos para garantizar el acceso equitativo al espacio público.....	10
4. Uso y acceso de la red vial como referente del derecho individual y colectivo del espacio público.....	11
4.1. Definición.....	11
4.2. Tipos de mecanismos de transferencia para garantizar el acceso al espacio público	12
4.2.1. Corredores.....	12
4.2.2. Cordones .....	12
4.2.3. Distancia recorrida.....	13
4.3. Tecnologías disponibles para el uso y acceso del espacio público .....	13
4.3.1. Identificación automática del número de placa.....	13
4.3.2. Comunicaciones dedicadas de corto alcance.....	13
4.3.3. Sistemas de posicionamiento vehicular.....	14
4.3.4. Lectura de odómetro.....	14
4.4. Ejemplos de implementación alrededor del mundo .....	15
4.4.1. Corredores.....	15
4.4.2. Cordones .....	16
4.4.3. Distancia recorrida.....	18
5. Evaluación del impacto de proyectos de cuantificación del uso del espacio vial urbano .....	19
5.1. Modelos económicos de transporte basados en encuestas origen-destino o aforos vehiculares .....	20
5.2. Experimentos piloto de sistemas de acceso a la red vial como mecanismo de acceso al espacio público .....	23
6. Conclusión.....	24
Segunda parte: Análisis internacional de experimentos piloto de esquemas que fomentan la garantía al derecho de movilidad urbana equitativa. ....	26
7. Introducción .....	27
8. Experimentos de corredor .....	28
8.1. Edimburgo (corredor e Identificación automática de placa).....	28



8.2. Leicester (corredor y comunicaciones dedicadas de corto alcance) .....	31
8.3. Bristol (corredor y sistemas de posicionamiento global).....	33
8.4. Gotemburgo (corredor y sistemas de posicionamiento vehicular) .....	36
9. Experimentos de cordón.....	39
9.1. Génova (cordón e identificación automática de número de placa) .....	39
9.2. Estocolmo (cordón y comunicaciones dedicadas de corto alcance).....	42
9.3. Bristol (cordón y sistemas de posicionamiento vehicular) .....	43
9.4. Copenhague (cordón y sistema de posicionamiento vehicular).....	44
9.5. Gotemburgo (cordón, distancia recorrida y GPS).....	46
9.6. Copenhague (cordón, distancia recorrida y GPS) .....	47
9.7. Oregón (cordón, distancia recorrida, GPS y odómetro).....	48
10. Experimentos de distancia recorrida y duración del viaje .....	51
10.1. Dublín (lectura de odómetro) .....	51
11. Conclusión.....	53
Tercera parte: Recomendaciones y plan de negocios para la realización de un programa de cuantificación y control del uso de la vialidad pública en el Distrito Federal.....	54
12. Introducción .....	55
13. Lecciones y recomendaciones obtenidas de experimentos previos .....	55
13.1. Diseño de los experimentos .....	56
13.1.1. Tipo de experimento .....	56
13.1.2. Magnitud de los parámetros de movilidad .....	57
13.1.3. Horario de operación .....	58
13.2. Operación de los experimentos .....	58
13.2.1. Reclutamiento de voluntarios .....	58
13.2.2. Elección de la empresa que provee la tecnología .....	59
13.2.3. Difusión de la información .....	59
13.2.4. Estimación del presupuesto para los voluntarios.....	59
13.3. Elección de tecnología.....	60
13.3.1. Precisión y costos de la tecnología.....	60
13.3.2. Detección de infractores .....	61
14. Propuesta para un programa piloto que garantice el derecho de movilidad urbana....	62
14.1. Objetivos.....	62
14.2. Tipo de programa y tecnología .....	63
14.3. Escenarios y costos sociales.....	64
14.4. Reclutamiento de voluntarios .....	66
15. Plan de negocios .....	67
15.1. Requisitos operativos .....	67
15.2. Etapas del proyecto .....	68
15.3. Estimación de costos.....	68



Conclusiones .....	71
Referencias .....	73
Anexo .....	75

## Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación de modelos económicos de transporte .....	22
Tabla 2. Lista de experimentos clasificados por tipo y tecnología utilizada. ....	28
Tabla 3. Costos sociales recomendados para el programa piloto. ....	66
Tabla 4. Cronograma de actividades y duración del proyecto .....	68
Tabla 5. Estimación preliminar de los costos del proyecto. ....	69

## Lista de figuras

Figura 1. Funcionamiento de carril de alta ocupación con tarifa vía e indicador electrónico de costo social generado.....	16
Figura 2. Mapa de operación del cordón de Londres. ....	18
Figura 3. Equipo a bordo de los camiones en Alemania para medir vía satélite el kilometraje recorrido, calcular el peaje y procesar la información.....	19
Figura 4. Red vial de la Ciudad de México .....	64

## Glosario de términos

ANPR	Identificación automática del número de placa.
DSRC	Comunicaciones dedicadas de corto alcance.
GPRS	Servicio general de radio por paquetes.
GPS	Sistemas de posicionamiento global.
GSM	Sistema global para comunicaciones móviles.
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México.



**Diagnóstico de los aspectos relacionados con el acceso al espacio público en el Distrito Federal por parte de los vehículos particulares, como base para el diseño de un sistema que permita medir el derecho humano al espacio público, a través del referente de movilidad urbana.**

**Primera parte: Mecanismos para garantizar el derecho de movilidad urbana.**



## 1. Introducción

El objetivo de esta primera parte del documento es contextualizar la necesidad de introducir mecanismos de carácter precautorio para garantizar el uso de la red vial como un espacio público y con esto el derecho individual y colectivo de movilidad urbana en el Distrito Federal (DF).

Para ello en la segunda sección de este capítulo se describe brevemente la forma en la que el espacio público urbano, específicamente la red vial, ha perdido la habilidad de garantizar cabalmente la interacción de los individuos en sociedad, a causa principalmente del uso excesivo del automóvil particular. En la tercera sección se describen los mecanismos diseñados para garantizar el acceso a la red vial, así como su implicación o efectos colaterales con relación al transporte público, el congestionamiento vial y la contaminación del aire. En la cuarta sección se describe el caso específico de uno de estos mecanismos, sus objetivos, tipos de implementación, tecnología y ejemplos prácticos alrededor del mundo. En la quinta sección se detallan los mecanismos con la inclusión de modelos económicos y experimentos prácticos.

## 2. El derecho individual y colectivo de acceso al espacio público, el referente de la movilidad urbana

El reconocimiento de la existencia de los derechos humanos colectivos ha constituido uno de los aspectos fundamentales en la evolución de la sociedad. Existen numerosos derechos, tales como el derecho a la vida, a la libertad personal, a la libertad de domicilio, de pensamiento o a la salud que son perfectamente ejercitables y aplicables de forma individual. Sin embargo los derechos a bienes colectivos, tales como el aire y el agua limpia, las áreas verdes, el paisaje, el entorno urbano sin basura y la movilidad urbana, son complicados de acceder.

Es posible ejercer la defensa de los derechos humanos de los habitantes del DF, usando como referente la ley y la normatividad, así como parámetros técnicos y científicos, sin embargo aquellos bienes y servicios urbanos y ambientales que por su carácter difuso son poco claros, requieren la construcción de parámetros para su entendimiento.

En el caso de la afectación del acceso a los espacios y bienes públicos en el DF, éste se relaciona con los esquemas de desarrollo adoptados en esta urbe y con los fenómenos de apropiación de las banquetas, camellones, parques o jardines para su empleo como estacionamientos; el cierre de calles por medio de rejas para restringir la circulación de vehículos, el uso de la vía pública para el comercio; así como la construcción de zonas habitacionales o grandes centros comerciales y de servicio sin una visión regional e integral del uso de vialidades, por mencionar algunos.



El Gobierno de la Ciudad de México reconoce la importancia y urgencia de rescatar los espacios públicos y proporcionar acceso equitativo a estos<sup>3</sup>. Por otro lado los bienes colectivos como son los bienes y servicios ambientales y el entorno urbano, también requieren ser analizados para tener un mejor entendimiento de su alcance como derechos humanos básicos.

Un tema poco estudiado en el DF, se relaciona con el derecho que tienen las personas a trasladarse de un lugar a otro de la ciudad por cualquier medio, lo cual se puede referir como movilidad urbana.

En este orden de ideas, el derecho de movilidad urbana de los habitantes del DF, tiene como impedimento la saturación de sus vialidades debido al tamaño del parque vehicular en circulación. De hecho, la situación de movilidad urbana puede calificarse como “crítica” debido a que es la ciudad con mayor densidad vehicular en el continente americano, con 353 automóviles por kilómetro de vialidad, lo que propicia que el 85% de la red vial primaria tenga velocidades promedio menores a 30 km/h y velocidades entre 7 y 15 km/h en horas pico.<sup>4</sup>

La movilidad urbana vista como la posibilidad de desplazarse dentro de la Ciudad de México a través del espacio público, debe considerarse como un aspecto que integra otros derechos, como el derecho a gozar de un ambiente sano y a la salud.<sup>5</sup> Asimismo, la posibilidad de movilizarse en menos tiempo implica un mejor ejercicio de un derecho humano básico, como es el acceso a los espacios públicos, que se traduce en que las personas puedan disponer de mayor tiempo personal y disminuir su estrés.

Actualmente, las acciones gubernamentales encaminadas a fomentar la movilidad urbana se orientan principalmente a la utilización y conectividad de un transporte sustentable (Metrobús y Metro) que ofrece la posibilidad de desalentar el uso del auto particular y revertir los patrones de traslado de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).<sup>6</sup> Es necesario tener en cuenta que en esta urbe los autos particulares

<sup>3</sup> Acuerdo por el que se crea el Órgano de Apoyo a las Actividades de la Jefatura de Gobierno para la Gestión Integral de los Espacios Públicos de la Ciudad de México. El espacio público es un conjunto de inmuebles y elementos arquitectónicos y naturales destinados por su naturaleza, uso o afectación, a la satisfacción de necesidades urbanas colectivas, así como los bienes cuyo uso pertenece a todos los habitantes de esta ciudad, como son las plazas, calles, avenidas, viaductos, paseos, jardines, parques públicos, otras áreas para la recreación pública y, en general, todos los elementos estructurales destinados para el uso y disfrute colectivo. Así mismo, este acuerdo señala que el espacio público es el escenario de la interacción social cotidiana que sirve como soporte para sus actividades y que por su importancia debe ser regulado específicamente por la administración pública para garantizar su accesibilidad a todos los habitantes de esta ciudad y cumplir con el fin de satisfacer las necesidades urbanas colectivas. Publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 26 de septiembre de 2008.

<sup>4</sup> Gobierno del Distrito Federal (GDF), Secretaría de Transporte y Vialidad. Programa Integral de Transporte y Vialidad 2001-2006. México, 2007.

<sup>5</sup> Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal (CDHDF), Diagnóstico de los derechos humanos del Distrito Federal, p 47. Ciudad de México, 2008.

<sup>6</sup> Con la prolongación de la Línea 1 del Metrobús se reporta que el 15% de los usuarios que tienen un vehículo particular lo dejan al inicio o final del recorrido.



representan el 94% del parque vehicular y sólo cubren el 20% de los viajes por persona que se necesitan diariamente, mientras que las minivan y microbuses cubren el 60% de los viajes por persona y sólo representan el 1.6% del parque vehicular.<sup>7</sup>

En adición al uso de transportes colectivos y sustentables, es necesario evaluar la situación de movilidad urbana en la Ciudad de México desde una perspectiva del derecho individual y colectivo de acceso al espacio público, sobre todo ante el proceso de megalópolis<sup>8</sup> que tendrá la ciudad junto con otras entidades federativas como son el Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla y Tlaxcala, el cual traerá sin duda consecuencias políticas, sociales y económicas, relacionados con la movilidad urbana, como son la contaminación del aire, la demanda de vivienda, el abasto de agua y la generación de ruido, lo que incidirá en los derechos ambientales y urbanos de sus habitantes.

Entre los aspectos a considerar se encuentran la población y el número de vehículos. Se estima que en el 2010 la población de la Zona Metropolitana del Valle de México se mantendrá en 20 millones de habitantes,<sup>9</sup> aún sin considerar la población de los municipios conurbados que se adhieran y los procesos de migración. En relación al número de vehículos, se espera que las ventas de autos continúen con la tendencia incremental del 40%<sup>10</sup> que tuvieron entre 1994 y 2005. Además se prevé un aumento en las distancias recorridas y en el tiempo de traslado, lo que afectará la disposición y el acceso a la red vial como espacio público.

Otro problema derivado del uso de los automóviles es la contaminación que producen y se relaciona directamente con el deterioro de bienes ambientales difusos y colectivos como son el aire y los ecosistemas. En la actualidad los automóviles que circulan en la ZMVM consumen el 57% de la gasolina y son responsables de emitir el 52% del monóxido de carbono, el 33% del óxido de nitrógeno y el 21% del dióxido de azufre. Se espera que estas emisiones se mantengan en los próximos años.<sup>11</sup>

La evaluación y exploración de mecanismos como los desincentivos económicos por el uso de la red vial, facilitan el uso equitativo de la red vial como un espacio público y ofrecen la ventaja de identificar parámetros asociados con la movilidad urbana, ya que los automovilistas son quienes internalizan los costos ambientales y sociales generados por el uso excesivo del vehículo en el espacio público. Además generan recursos

<sup>7</sup> GDF, Secretaría del Medio Ambiente (SMA). Inventario de emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), 2006. México DF, 2007.

<sup>8</sup> Jean Gottman describe a una megalópolis como un continuo urbano de gran extensión, consecuencia del crecimiento de una ciudad hasta tener contacto con otra ciudad. También se utiliza el término de "ciudad-región" para aludir a formaciones megapolitanas o porciones de territorios urbanos relativamente integrados entre sí (PROAIRE, 2003).

<sup>9</sup> Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI).

<sup>10</sup> *Idem.*

<sup>11</sup> GDF, SMA, *op. cit.*, México, 2007.

adicionales para el gobierno, reducen la saturación de la red vial y fomentan la reducción de las emisiones de contaminantes.

### 3. Mecanismos para garantizar el acceso equitativo al espacio público

En la segunda mitad del siglo pasado la solución común a los problemas de congestión vehicular, de acceso y uso de la red, consistió en la inversión de infraestructura y construcción de nuevas avenidas, la ampliación de las ya existentes, y el uso de puentes y túneles que permitieran flujos vehiculares continuos en las avenidas con mayor demanda. Los ejemplos sobresalientes en la Ciudad de México fueron la construcción del Circuito Interior, el Periférico, el Viaducto Miguel Alemán y los ejes viales. Esta práctica no fue exclusiva de nuestra ciudad, al contrario, fue el patrón que siguieron tanto países desarrollados como en vías de desarrollo.

En la actualidad diversos estudios demuestran que la expansión de la red vial sólo soluciona temporalmente los problemas de falta de acceso al espacio público; el resultado en el largo plazo redundará en el aumento de la demanda del uso del vehículo particular, con ello se limita nuevamente el acceso al espacio público, se incrementa el congestión vehicular y las emisiones contaminantes.<sup>12</sup>

Este fenómeno se conoce en teoría económica como demanda inducida, es decir, cuando la demanda de un bien aumenta al incrementar su oferta. Por si fuera poco, la construcción masiva de infraestructura vial ha resultado en la pérdida de áreas verdes y de espacios urbanos de recreación. Además en la actualidad la estructura urbana de la mayoría de las grandes ciudades carece de espacio para la construcción de más avenidas. Por esta razón, los especialistas en temas de transporte buscan otras soluciones que reduzcan efectivamente el tránsito vehicular como vía para garantizar el acceso al espacio público y de esta forma, atenuar los problemas socio ambientales asociados.

Los mecanismos implementados alrededor del mundo para garantizar el acceso al espacio público se pueden clasificar en: 1) aumento de la oferta de transporte público y privado, y 2) implementación de programas para disminuir la demanda de uso del automóvil.

Algunos ejemplos de la primera categoría son la construcción de avenidas, la inversión en transporte público y el mejoramiento del desempeño de la infraestructura de vialidades (rediseño, señalización y semaforización). En la segunda categoría se encuentran las políticas para disminuir la *demand*a de transporte privado y que incluyen

---

<sup>12</sup> Goodwin y Noland, 2003



el fomento del uso compartido del vehículo, la flexibilidad para trabajar desde el hogar, los programas de restricción vehicular como el 'hoy no circula' y la cuantificación y control del uso de la red vial urbana. En este último caso son los usuarios del vehículo particular quienes internalizan los costos que le generan al resto de la sociedad.

## **4. Uso y acceso de la red vial como referente del derecho individual y colectivo del espacio público**

### **4.1. Definición**

El objetivo de los mecanismos para garantizar el uso y acceso a la red vial como espacio público, es transferir los costos sociales que derivan de situaciones como el congestionamiento vial a los usuarios que lo producen. Es decir, cada vehículo adicional en la red vial implica la posibilidad de limitar el acceso y uso de este espacio público, y con esto el derecho individual y colectivo de usarlo para atender cualquier situación que requiere trasladarse en un tiempo pertinente.

Ya que el tiempo perdido debido a los traslados en vehículo es una variable que se puede cuantificar económicamente o a la que cada usuario asigna un valor monetario, cada vehículo que se incorpora a una vialidad genera un costo al resto de los automovilistas. Además existe la posibilidad de que cada vehículo produzca otros costos o externalidades que atenten contra los derechos colectivos del espacio público libre de contaminantes y sin ruido.

El principio económico detrás de un mecanismo que tiene como objetivo facilitar el acceso y uso de la red vial, depende de que cada usuario internalice los costos sociales o externalidades que produce al emplear su automóvil. El monto de este costo se conoce como costo marginal social y varía dependiendo del nivel de saturación que alcanza el espacio público por congestionamiento vehicular. Esto significa que el costo marginal social aumenta a medida que se limita el espacio público por causa de congestionamiento, dado que cada vehículo adicional tendrá que asumir los costos que le genera a un mayor número de usuarios. Por lo mismo, los costos marginales sociales varían según el nivel de restricción del espacio público en las distintas avenidas, a distintas horas del día y según los niveles de contaminación que se registran.

Otro tipo de medida económica que garantiza el acceso a la red vial como espacio público, consiste en reducir el uso del vehículo particular a través de impuestos en combustibles. Sin embargo, la tasa del impuesto es fija por litro consumido y no es posible asociarla con variables como el nivel de tránsito vehicular por hora del día o por tipo de vialidad. Lo mismo sucede con los impuestos a la tenencia vehicular, ya que tampoco están relacionados con el nivel de uso del vehículo. De hecho favorecen el uso,

ya que al ser anual, el monto del impuesto por kilómetro recorrido disminuye a medida que se utiliza más el vehículo.

En suma, los mecanismos existentes para asegurar el uso y acceso de la red vial como espacio público, se asocian directamente al nivel de uso del vehículo y tienen por objetivo garantizar el uso del espacio, reduciendo el congestionamiento vial, disminuyendo los tiempos de viaje, la contaminación del aire y el número de accidentes. A la par, generan ingresos adicionales para los gobiernos locales que pueden ser invertidos para mejorar la infraestructura y calidad del transporte público, que a su vez fomenta el ejercicio del derecho de movilidad urbana.

## **4.2. Tipos de mecanismos de transferencia para garantizar el acceso al espacio público**

Los mecanismos de transferencia de costos para garantizar el uso del espacio público vial se clasifican en tres: 1) uso de un corredor específico, 2) uso de un área específica (cordones), y 3) distancia recorrida.

### **4.2.1. Corredores**

El mecanismo de uso y acceso de la red vial más conocido alrededor del mundo es el peaje por el uso de una vialidad específica, por ejemplo un puente, un túnel o una carretera interestatal. Con los recursos económicos que genera este tipo de dispositivo se financia la infraestructura vial y su mantenimiento.

### **4.2.2. Cordones**

Los cordones alrededor de las zonas con mayor demanda vehicular, son usados generalmente en los centros de ciudades, donde los automovilistas acceden mediante peaje a una zona específica. Este mecanismo incorpora el número de veces que el vehículo cruza el límite de la zona o el cruce durante un periodo determinado del día, por ejemplo durante las horas pico. También es posible instalar cordones múltiples en zonas donde las externalidades producidas por el uso del vehículo aumentan, como son las de mayor tránsito vehicular.

Es importante mencionar que una desventaja de este mecanismo es que se aplica el mismo parámetro de control de uso y acceso para todos los vehículos que circulan en la zona, sin importar la distancia que recorren. Por esta razón, es un dispositivo que genera inequidad, debido a que el costo por kilómetro recorrido es menor para los usuarios que transitan distancias más largas.

### **3.2.3. Distancia recorrida**

La distancia recorrida es un mecanismo de uso y acceso a ciertas zonas que considera el kilometraje recorrido del vehículo, de forma que el costo generado por recorrer un kilómetro en auto particular depende de variables como el nivel de tránsito, hora del día, nivel de emisiones contaminantes de cada vehículo y la zona de la ciudad por la cual se circule.

## **4.3. Tecnologías disponibles para el uso y acceso del espacio público**

Tradicionalmente la tecnología disponible para garantizar el uso y acceso del espacio público son las casetas de peaje. Sin embargo, se requieren fuertes inversiones en construcción, mantenimiento y operación de éstas. Además, cada vehículo debe detenerse para hacer el pago correspondiente, incrementando el tiempo de viaje y las emisiones contaminantes.

En la actualidad existen otras tecnologías para monitorear el uso de un vehículo y estimar las externalidades sociales asociadas, éstas no requieren inversiones costosas y resuelven los problemas de tránsito que se generan al detener cada vehículo en casetas de peaje. A continuación se describen brevemente cuatro tecnologías que se detallan en la sección 5 de este documento.

### **4.3.1. Identificación automática del número de placa**

Esta tecnología es comúnmente utilizada en los mecanismos de cordón, consiste en colocar cámaras con reconocimiento óptico de caracteres en cada avenida con acceso a la zona restringida para identificar la placa de cada vehículo que cruza el cordón. Las imágenes captadas por la cámara se transforman automáticamente en información electrónica, que se compara con una base de datos que contiene los números de placa de los vehículos. La transferencia del peaje se puede hacer por internet, teléfono, mensaje de texto o correo electrónico. Cuando el usuario no realiza el pago correspondiente, recibe en su domicilio una multa con la foto del vehículo, fecha y hora en la que cruzó el cordón.

Una ventaja de esta tecnología es que no requiere instalación de ningún equipo a bordo de los vehículos. Sin embargo, la inversión de infraestructura aumenta con el tamaño del cordón y la confiabilidad de la imagen se reduce en condiciones ambientales adversas o cuando la placa del vehículo está dañada mal colocada o sucia.

### **4.3.2. Comunicaciones dedicadas de corto alcance**

Esta tecnología requiere la instalación de un equipo a bordo de cada vehículo (chip electrónico), el cual se comunica por medio de microondas con otros equipos instalados en las avenidas que identifican las ocasiones en que el vehículo cruza un



cordón o utiliza una carretera o avenida específica. El peaje se sufraga automáticamente con tarjetas de prepago o crédito.

El nivel de confiabilidad de los sistemas de comunicación vía microondas es mayor que las cámaras con reconocimiento óptico de caracteres. Sin embargo, sólo es aplicable a cordones relativamente pequeños, de lo contrario los costos en infraestructura aumentan. Además de que los vehículos que no cruzan el cordón pero que circulan dentro de la zona restringida, que contribuyen al tráfico y a la contaminación, no pagan el peaje.

#### **4.3.3. Sistemas de posicionamiento vehicular**

El desarrollo de los sistemas de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés), permiten implementar formas de localización que facilitan la ubicación de un vehículo vía satélite. Esta tecnología es aplicable tanto a corredores específicos como a cordones, donde la medición puede depender del número de veces que cruza un vehículo la zona, o la distancia que recorre dentro del cordón. También se puede usar cuando se tienen cordones múltiples, ya que el dispositivo a bordo del vehículo se conecta periódicamente con una computadora central que cuantifica y procesa el pago de peajes.

La ventaja de este tipo de tecnología radica en que es posible calcular el pago de peajes con relación al área donde se restringe el acceso debido al nivel de congestión, más la distancia recorrida. Tiene la desventaja de que su confiabilidad se reduce en zonas urbanas, debido a que la altura de los edificios puede interferir la comunicación entre el vehículo y el satélite.

#### **4.3.4. Lectura de odómetro**

El uso de un dispositivo que se conecta al odómetro del vehículo es otra tecnología disponible para monitorear la distancia recorrida, es similar a un taxímetro, que calcula el costo del viaje según la distancia recorrida y la duración del viaje. Ésta se sincroniza con algún método de pago, por ejemplo vía lectores de uso vehicular en gasolineras, o por medio de comunicaciones de corto alcance o sistemas de posicionamiento global.

Esta tecnología es sumamente confiable y puede estar vinculada a un sistema de posicionamiento vehicular en distintas zonas, sin necesidad de depender exclusivamente de la tecnología satelital.

## 4.4. Ejemplos de implementación alrededor del mundo

### 4.4.1. Corredores

El mecanismo de uso y acceso al espacio vial público más conocido del mundo es el pago de peajes en puentes, túneles o carreteras. En México, el pago de peaje existe desde hace varias décadas y sirve para financiar la infraestructura vial, su operación y mantenimiento. En el país existen 7 500 kilómetros de carreteras con peaje, y representan aproximadamente el 20% del total de la red carretera.

El peaje depende del tipo y tamaño del vehículo (motocicleta, automóvil, autobús y camiones de carga según su número de ejes), así como de la distancia recorrida. El mecanismo dominante para la transferencia del peaje es la caseta, en la actualidad algunas ya cuentan con tecnologías de comunicación dedicada de corto alcance para usuarios frecuentes, autobuses de pasajeros y camiones de carga.

En la ciudad de San Diego, California hay un ejemplo de corredor con parámetros variables que toman en cuenta el nivel de uso y acceso, la carretera interestatal 15 (I-15). Un carril que normalmente tiene menos congestionamiento que el resto, está reservado para vehículos con dos o más pasajeros. Los vehículos con un solo pasajero que usan este carril pagan un peaje que varía en tiempo real cada 6 minutos según el nivel de tránsito vehicular y se anuncia a los usuarios por medio de señalización vial electrónica. El pago se realiza vía electrónica a través de comunicación dedicada de corto alcance.<sup>13</sup> (figura 1)

---

<sup>13</sup> La imagen fue obtenida de la página electrónica:

<<http://lh6.ggpht.com/Tgp2hEQm3ls/SCC5Xs8LQBI/AAAAAAAAAD4/sul-Cgmg7PQ/wa+hot+lane.jpg>>, consultada el 15 de octubre de 2008. Para más información sobre carriles de alta ocupación ver de Corla-Souza, 2004.





Figura 1. Funcionamiento de carril de alta ocupación con tarifa vía e indicador electrónico de costo social generado.

#### 4.4.2. Cordones

Muchas ciudades alrededor del mundo utilizan mecanismos de tipo cordón para garantizar el acceso y uso al espacio de la red vial y mejorar la seguridad de los peatones, además de reducir el congestionamiento vial y la contaminación del aire en las zonas céntricas.

El primer mecanismo de uso y acceso del espacio vial público de tipo cordón se implementó en Singapur en el año de 1975. En un principio se usaron licencias de papel que debían adquirirse y pegarse en el medallón del vehículo antes de cruzar el cordón. Desde 1998 la identificación de vehículos se realiza con comunicación dedicada de corto alcance y la transacción de peajes se efectúa con tarjetas de prepago. El programa opera de 7:30 hrs a 19:30 hrs, cuenta además con un periodo de entrada gratuita entre 10:00 am y 12:00 pm. El cordón central funciona con 28 entradas y 5 corredores que tienen peajes distintos a lo largo del día.<sup>14</sup>

En la ciudad de Durham, Inglaterra se emplea un peaje de £2 (\$43 pesos)<sup>15</sup>. El mecanismo se aplica desde el año 2002 a los vehículos que usan el espacio público de la zona histórica. Solamente existe un acceso y el peaje se deposita en una máquina al

<sup>14</sup> Para una descripción detallada de este esquema ver Santos *et al.*, 2004.

<sup>15</sup> El tipo de cambio promedio en el mes de febrero de 2009, publicado por el Banco de México <<http://www.banxico.org.mx>>, fue de MXN\$21.50 por GBP£1.



salir del cordón. En las ciudades de Roma, Italia y Estocolmo, Suecia, se utilizan cordones con tecnología de comunicación dedicada de corto alcance, mientras que en Valletta, Malta y en Londres, Inglaterra se utilizan cámaras de lectura automática de placas.

El mecanismo implementado en Londres es uno de los más exitosos y con mayor aceptación y apoyo del público en el mundo, la garantía de uso del espacio vial público mejoró aproximadamente en 18% al reducirse el número de automóviles que entra al cordón, mientras que el número de pasajeros de autobuses urbanos aumentó en 38%. El cordón opera desde febrero de 2003 y el peaje entre las 7:00 hrs y 18:00 hrs fue originalmente de £5 (108 pesos) y aumentó en el año 2005 a £8 (172 pesos).<sup>16</sup> La zona fue extendida hacia el poniente en 2007 y cubre en la actualidad un área de aproximadamente 44 km<sup>2</sup>. Las cámaras son capaces de detectar correctamente el 90% de los vehículos que cruzan el cordón y la información del peaje se envía por medio de mensajes de texto, internet, teléfono o a través de tiendas autorizadas. Si el peaje no se recibe a más tardar a las 24:00 hrs de la noche del día siguiente, se envía una multa de £120 (2 580 pesos)<sup>17</sup> al domicilio de registro del vehículo. (figura 2)

---

<sup>16</sup> *Idem.*

<sup>17</sup> *Idem.*

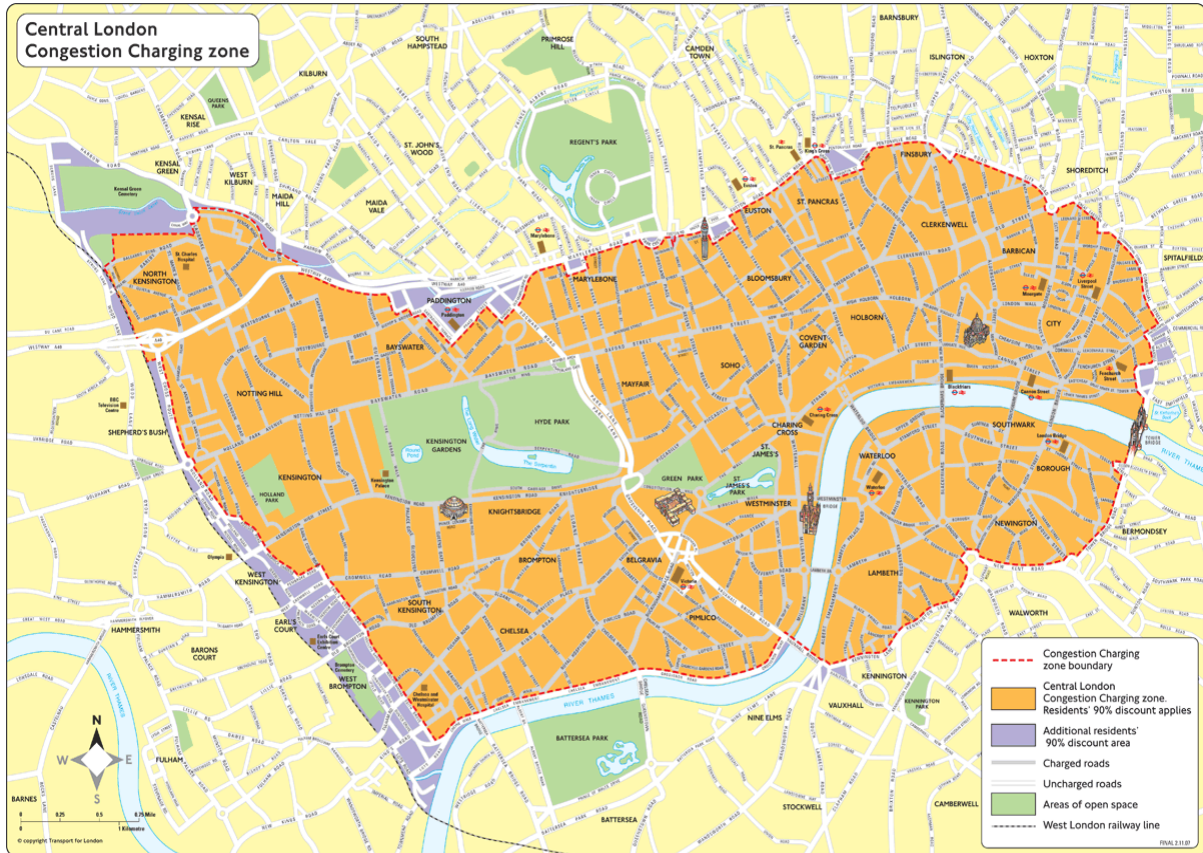


Figura 2. Mapa de operación del cordón de Londres.

#### 4.4.3. Distancia recorrida

En países como Austria y Alemania se emplean tecnologías de posicionamiento vehicular para cobrar peajes por kilómetro recorrido para los camiones de carga que utilizan la red de carreteras. Los parámetros varían según el tipo de avenida, hora del día y tipo de camión. En Austria el mecanismo de uso y acceso del espacio público inició su operación en el año de 2004, se aplica a los camiones de 3.5 toneladas o de mayor peso que utilizan una red de 142 kilómetros de carreteras. En Alemania se instrumentó un mecanismo similar en 2005 y se aplica únicamente a camiones de 12 toneladas o de mayor peso y que circulan en una red carretera de 12 000 kilómetros. El monto del peaje en Alemania varía entre 6 y 14 centavos de Euro por kilómetro (entre 1.15 y 2.70 pesos)<sup>18</sup> dependiendo de las emisiones contaminantes del camión. Con este mecanismo

<sup>18</sup> El tipo de cambio del 23 de marzo de 2009, publicado por el BM <<http://www.banxico.org.mx>> fue de MXN\$19.20 por €1.

la demanda del espacio público se ha reducido aproximadamente en 15% y el volumen de carga por tren aumentó en 7%.<sup>19</sup> (figura 3)



Figura 3. Equipo a bordo de los camiones en Alemania para medir vía satélite el kilometraje recorrido, calcular el peaje y procesar la información.

## 5. Evaluación del impacto de proyectos de cuantificación del uso del espacio vial urbano

Los mecanismos y tecnologías mencionados en la sección anterior se instrumentaron con el objetivo de renovar la dinámica del uso y acceso de los espacios públicos, para fomentar el derecho equitativo de movilidad urbana, aumentar el número de pasajeros que utilizan transporte público y reducir el congestionamiento vial, además de contribuir en la disminución de los niveles de contaminación del aire y proveer recursos monetarios a los gobiernos locales. Sin embargo, la magnitud de los resultados varía entre ciudades. Por ejemplo, con el cordón de la ciudad de Durham se logró garantizar el uso y acceso a la red vial como espacio público al reducir el número de vehículos en el centro histórico hasta en un 85%, mientras que en Londres fue de 18%.

Estos resultados dependen del caso particular y de una gran variedad de factores, por ejemplo, tipo de mecanismo, tecnología, estructura urbana, disponibilidad y calidad del transporte público, infraestructura para el uso de otros modos de transporte (por ejemplo

<sup>19</sup> Imagen obtenida de la página: <http://www.toll-collect.de/frontend/press/picturearchive/BigPictureVP.do;jsessionid=655E2DD15A50E2276BAA8629576A914D?primaryKey=501>, consultada el día 17 de octubre de 2008.



bicicletas), nivel de los parámetros aplicados con respecto al nivel de ingresos, precio del transporte público e incluso otros elementos como el estado del tiempo. Por ello es indispensable que antes de implementar un sistema que busque garantizar el uso y acceso de la red vial, se realicen estudios para pronosticar los efectos y evaluar la efectividad del sistema, como el posible incremento en la demanda de transporte público y la recaudación del gobierno.

Otros elementos a considerar en una decisión de este tipo son:

1. Impactos ambientales (contaminación del aire, niveles de ruido y obstrucción visual)
2. Impacto en diferentes grupos de ingreso
3. Cambios en patrones de viajes (decisión de viajar, elección de destino, hora de viaje, modo de transporte y ruta)
4. Desempeño de la red de transporte para evaluar su capacidad de transportar a los usuarios que dejan de usar su auto
5. Impactos económicos en vivienda y desempeño de la economía
6. Número y severidad de accidentes
7. Destino de los recursos adicionales del gobierno
8. Cumplimiento de la ley y detección de infractores
9. Desempeño de la tecnología
10. Cambio institucional (capacidad de las agencias de gobierno para administrar el programa)

Existen dos tipos de estudios para predecir el efecto de un sistema para el uso y acceso al espacio vial público: 1) los modelos económicos de transporte basados en encuestas origen-destino o aforos vehiculares y, 2) experimentos reales con el uso de voluntarios. Ambos se describen a continuación.

### **5.1. Modelos económicos de transporte basados en encuestas origen-destino o aforos vehiculares**

Los modelos económicos de transporte que estudian los efectos de un sistema para el uso y acceso de la red vial como espacio público siguen tres pasos principales.

En el primer paso se define un escenario base, donde la oferta y la demanda de transporte privado están en equilibrio.

El segundo paso consiste en aplicar un parámetro de costo social y estimar los cambios en la demanda, generalmente se usan modelos de minimización de costos, maximización de beneficio social o cambios en los costos generalizados de transporte. En este paso se utiliza un valor de la elasticidad de la demanda y por lo general sigue un proceso de iteración, es decir, la demanda de uso del vehículo disminuye con la

introducción del esquema de retribución por uso y acceso del espacio público, permitiendo velocidades más altas y reduciendo el tiempo del viaje para el resto de los usuarios. Lo que a su vez atrae a más usuarios a las calles, disminuyendo velocidades y aumentando el tiempo de viaje. El proceso continúa hasta que converge a un equilibrio.

Finalmente, el impacto del programa se mide por la diferencia entre el escenario inicial y el final.

La reducción de la demanda en la red vial como espacio público, se mide por medio de la elasticidad de la demanda. Este valor mide el porcentaje en que varía la cantidad demandada de un bien cuando su precio varía en 1%. La demanda de algunos bienes es *elástica* o muy sensible a pequeñas variaciones en su precio que provocan grandes variaciones en la cantidad demandada. Por el contrario, los bienes poco sensibles a cambios en los precios tienen demanda *inelástica*, es decir, grandes variaciones en precios provocan cambios mínimos en la cantidad demandada. Por lo tanto, los mecanismos de uso y acceso del espacio público son más efectivos cuando la demanda del uso del vehículo particular es *elástica* con respecto a cambios en el precio.

Algunos estudios utilizan la elasticidad de la demanda asociada al uso del vehículo con respecto a cambios en el precio de la gasolina tratando de aproximar el efecto de un proyecto de este tipo, dado que tanto el precio de la gasolina como el costo social incurrido forman parte del precio de operación de un vehículo.

La diferencia principal entre los modelos económicos de transporte que evalúan el impacto del sistema para el uso y acceso de la red vial como espacio público, es el origen de los datos que alimentan el modelo y que pueden obtenerse de encuestas origen-destino o de aforos vehiculares. También difieren en el tipo de programa que evalúan y el paquete de cómputo que utilizan.

Los estudios basados en encuestas de origen-destino emplean programas de cómputo como SATURN y EMME/2. Éstos utilizan zonas de origen y destino de viajes, además de la red vial para predecir la elección de ruta y costos para diferentes modos de transporte. Los algoritmos básicos utilizan un modelo de transporte de cuatro etapas, generación de viajes, elección de ruta, elección de modo de transporte y asignación del viaje en la red vial.

Los modelos más complejos incluyen tipo de parque vehicular, uso de suelo y mercados de vivienda y empleo. Para el cálculo de los resultados se utilizan datos predeterminados de costos de transporte, curvas de velocidad-flujo, y valores de elasticidad de la demanda.

Los estudios basados en aforos vehiculares no permiten predecir cambios en rutas, pero representar la demanda de cada avenida con detalle. En la tabla 1 se resumen los

aspectos relevantes de estudios recientes en los que se analiza el impacto de sistemas de acceso a la red vial para autos particulares.

Los resultados obtenidos sugieren que los sistemas basados en distancia recorrida producen mayores beneficios sociales en comparación con los sistemas basados en cordones o corredores, sobre todo si el objetivo es reducir el tránsito vehicular para garantizar el uso y acceso del espacio público y con ello asegurar el derecho de movilidad urbana. Sin embargo, los resultados con respecto de la magnitud de este derecho y su beneficio económico, no son directamente comparables, dado que los estudios difieren en el tipo de programa analizado y los datos utilizados, así como con respecto a diferentes valores de costos sociales y elasticidades.

Estudio/Autor (es)	Ciudad	Datos	Tipo de programa	Respuesta de usuarios	Modelo
Kim y Hwang (2005)	Seúl	O-D	Carril de alta ocupación	Elección de modo y ruta	EMME/2 (Minimización de costos)
Larsen y Ostmo (2000)	Oslo	O-D	Cordones (parámetros fijos y variables)	Elección de modo y hora de viaje	Modelos tipo Logit (cambios en costo generalizado)
Bonsall y Kelly (2005)	Leeds	O-D	Cordón, tiempo de uso y distancia recorrida	Elección de ruta, demanda fija	SATURN (cambios en costo generalizado)
May y Milne (2000)	Cambridge	O-D	Cordón, tiempo de uso y distancia recorrida	Elección de ruta, demanda variable	SATURN-SATEASY (cambios en costo generalizado)
de Palma y Lindsey (2006)	Área metropolitana de París	O-D	Corredor, Cordón, tiempo de uso	Elección de modo, ruta y hora de viaje	METROPOLIS (cambio en excedente social)
Vold (2006)	Oslo	O-D	Corredor	Modelo de 4 etapas y parque vehicular	RETRO, EMME/2 (maximización de beneficio social)
de Palma <i>et al.</i> (2006)	Helsinki	O-D	Corredor, cordón y distancia recorrida	Cambios en uso de suelo, lugar de trabajo, residencia y mercado laboral	MEPLAN (cambios en costo generalizado)
Proost y Sen (2006)	Bruselas	AV	Cordón	Elección de modo y hora de viaje	TRENEN-II (cambios en costo generalizado)
Armelius y Hultkrantz (2006)	Estocolmo	AV	Cordón (variable)	Elección de modo de transporte	Maximización de utilidad
Graham y Glaister (2006)	Inglaterra	AV	Distancia recorrida (costos marginales sociales)	Elección de modo, hora de viaje y ocupación del vehículo	Cambios en costo generalizado
Crotte <i>et al.</i> (2008)	Zona Metropolitana Ciudad de México	AV	Distancia recorrida (costos marginales sociales)	Elección de modo, hora de viaje y ocupación del vehículo	Cambios en costo generalizado

**Tabla 1. Clasificación de modelos económicos de transporte**

O-D = Encuestas origen-destino, AV = Aforos vehiculares



El modelo utilizado por Crotte *et al.*, para analizar el de un sistema basado en kilómetros recorridos en la Zona Metropolitana del Valle de México, se fundamentó en aforos vehiculares y contempla cuatro reacciones de parte de los automovilistas:

- a) cambios en ocupación por vehículo
- b) cambio en la hora de viaje
- c) cambio de modo de transporte
- d) eliminación de viajes

También predice cambios en kilómetros recorridos, velocidades y demanda diaria del transporte público en diferentes áreas y horarios. Además pronostica la magnitud del beneficio económico y simula escenarios de parámetros equivalentes a los costos marginales sociales, costos ambientales y el efecto de eliminar el impuesto a la tenencia, así como también el ISAN y sustituirlos por un programa de cuantificación y control del uso del vehículo particular.

Los resultados sugieren que la aplicación de costos marginales sociales permitiría el acceso a la red vial gracias a que se reduciría el número de kilómetros recorridos en un 14% y se podrían recaudar hasta 50 mil millones de pesos al año.

La desventaja de la mayoría de los modelos económicos de transporte, radica en que la reducción del tráfico se estima considerando la elasticidad de la demanda del uso del vehículo particular con respecto al precio de la gasolina, cuando deberían emplear la demanda del uso del vehículo particular. Esto se debe a la falta de información para corroborar que si la magnitud de ambas elasticidades es diferente.

Por ejemplo, al aumentar el precio de la gasolina los automovilistas pueden adquirir vehículos más eficientes en el uso de combustible para evitar incurrir en mayores costos y de esta manera continúan utilizando su vehículo; pero un vehículo más eficiente no evita la aplicación de un parámetro que garantice el acceso equitativo al espacio urbano público. Es decir, la elasticidad con respecto al precio de la gasolina podría ser menor que la elasticidad con respecto a los parámetros de costos sociales. Si así fuera, los modelos económicos de transporte estarían subestimando la magnitud de la reducción del congestionamiento.

## **5.2. Experimentos piloto de sistemas de acceso a la red vial como mecanismo de acceso al espacio público**

Algunas ciudades han realizado experimentos piloto para conocer la respuesta de los automovilistas, el impacto en el medio ambiente, la demanda de transporte público y

calcular los posibles ingresos adicionales para los gobiernos locales, todo con el fin de obtener información sobre el implemento de los sistemas de acceso de la red vial en áreas y espacios urbanos públicos.

Los experimentos consisten en seleccionar una muestra representativa de automovilistas, a los que se les otorga un presupuesto mensual que pueden utilizar para internalizar los costos sociales por el uso de su automóvil o pueden emplearlo para cualquier otro fin en la medida en que reducen el manejo de su auto. El uso de un presupuesto mensual, tiene como objetivo simular el gasto que haría con su propio ingreso y así internalizar los costos sociales.

Los experimentos miden el efecto de programas de tipo corredor, cordón o distancia recorrida y pueden emplear tecnologías de lectura electrónica de placa, comunicaciones dedicadas de corto alcance, sistemas de posicionamiento vehicular o lectura de odómetro. También pueden simular distintos escenarios, modificando variables como el tamaño de un cordón, el número de cordones o el monto de los costos sociales que resulten más efectivos para garantizar el derecho de movilidad urbana de forma equitativa.

Los experimentos generalmente se dividen en tres etapas:

- a) Primera. Monitoreo del uso del vehículo para establecer un escenario base.
- b) Segunda. Cuantificación de los costos sociales y monitoreo del uso del vehículo para establecer un escenario final.
- c) Tercero. Análisis de los cambios en el uso del vehículo privado entre ambos escenarios y cálculo de la magnitud de los ingresos adicionales para el gobierno.

La importancia de recopilar este tipo de información es que el monitoreo de la misma y su modelación, permiten analizar el impacto de este tipo de programas en diversos grupos de automovilistas, por ejemplo, con base en su ingreso, lugar de residencia, tipo de vehículo, tamaño de familia, etcétera. Además de pronosticar cambios en los niveles de tráfico vehicular y explorar la aplicabilidad y confiabilidad de tecnologías diferentes.

## 6. Conclusión

La red vial es un espacio urbano de uso público y el acceso a ésta debe considerarse como un derecho individual y colectivo de las personas. Sin embargo, el excesivo tránsito vehicular en las urbes como la Ciudad de México, imposibilita a sus habitantes a tener un goce pleno del derecho de movilidad urbana. Una forma de garantizarlo es por medio de sistemas que permitan el uso del espacio vial público a través de peajes.



En esta sección se describió brevemente la operación de diferentes sistemas alrededor del mundo y los métodos para predecir sus resultados, que incluyen modelos económicos y experimentos piloto. La siguiente sección trata las características de los experimentos piloto y presenta algunos ejemplos llevados a cabo en diversas ciudades.



**Diagnóstico de los aspectos relacionados con el acceso al espacio público en el Distrito Federal por parte de los vehículos particulares, como base para el diseño de un sistema que permita medir el derecho humano al espacio público, a través del referente de movilidad urbana.**

**Segunda parte: Análisis internacional de experimentos piloto de esquemas que fomentan la garantía al derecho de movilidad urbana equitativa.**

## 7. Introducción

En la primera sección de este trabajo se menciona que el espacio urbano de uso público está formado por las áreas de recreación pública y las áreas de circulación peatonal o vehicular. Estos espacios son de libre acceso, sin embargo, cuando su saturación limita el disfrute pleno del derecho a su goce es necesaria la intervención de los gobiernos.

En el caso de la red vial del DF, que constituye un espacio urbano público para la movilidad de sus residentes, el uso excesivo del automóvil particular ha generado que el derecho humano a la movilidad urbana se vea menguado principalmente en horas pico. Este uso desmedido del vehículo particular produce costos sociales, tales como mayores tiempos de recorrido, pérdidas en productividad, estrés y contaminación.

En distintas ciudades alrededor del mundo se han introducido esquemas para cuantificar económicamente la magnitud de los costos sociales derivados del uso particular del vehículo y promover el derecho de movilidad urbana. En el apartado anterior se señala que un método para estimar el impacto de un esquema de esta naturaleza, es realizar experimentos piloto con voluntarios.

En esta segunda parte se describen los parámetros de experimentos piloto realizados en diferentes, poniendo énfasis en el tipo de parámetros que se utilizan, tipo de tecnología y los problemas que se presentaron durante su ejecución. Esto con el objeto de identificar los elementos que pueden incluirse en un experimento en la Ciudad de México.

La información se divide en tres secciones. La primera incluye la descripción de los experimentos piloto de tipo corredor, acceso a un corredor y los kilómetros recorridos. La segunda describe experimentos de tipo cordón, cruce de cordón y los kilómetros recorridos. El tercero incluye la cuantificación de kilómetros recorridos y tiempo de duración del viaje, independientemente del lugar donde se utiliza el vehículo.

El tipo de tecnología que se usa en cada una de las ciudades y experimento que se describirán, se resumen en la tabla 2.

Tipo de experimento	Identificación automática de placa	Comunicación dedicada de corto alcance	Sistema de posicionamiento vehicular	Lectura de odómetro
Corredor	Edimburgo	Leicester	-	-
Corredor (Distancia recorrida)	-	-	Bristol y Gotemburgo	-
Cordón	Génova	Estocolmo	Bristol y Copenhague	-
Cordón (Distancia recorrida)	-	-	Gotemburgo y Copenhague	-
	-	-	Oregon	-
Distancia recorrida y duración del viaje	-	-	-	Dublín

Tabla 2. Lista de experimentos clasificados por tipo y tecnología utilizada.

## 8. Experimentos de corredor

### 8.1. Edimburgo (corredor e Identificación automática de placa)

La ciudad de Edimburgo es la capital de Escocia, tiene cerca de 500 mil habitantes y junto con la población del área conurbada suma casi 1 millón de habitantes. Su economía se basa en un moderno sector de servicios dominado por actividad financiera y turística. Atrae a un número importante de estudiantes, ya que cuenta con tres universidades y el mayor número de instituciones de educación en el país. También es la base de operaciones de diversas compañías, organizaciones no gubernamentales y del Parlamento Escocés.

Aunque la calidad de su sistema de transporte es comparable al de cualquier capital Europea, los servicios de trenes suburbanos presentan niveles de saturación, principalmente en horas pico, en adición la expansión de avenidas, la construcción de desarrollos habitacionales y comerciales con poco acceso a transporte público, favorecieron el uso del automóvil. Se estima que el parque vehicular creció 77% entre los años de 1981 y 1997, ascendiendo a 373 vehículos por cada 1 000 habitantes. Además casi el 57% de los viajes diarios se realizan en automóvil, por lo que su red vial de 1 516 km es insuficiente para transportar eficientemente a los usuarios del vehículo particular.

El comité de transporte de la ciudad de Edimburgo, decidió en el año de 1999 explorar diversas alternativas de políticas públicas para salvaguardar el derecho de acceso al espacio público urbano mediante la reducción del tráfico vehicular y así garantizar el derecho de movilidad urbana. Una alternativa consistió en introducir programas de cuantificación y control de uso del vehículo particular, el programa propuesto fue de tipo cordón con uso de cámaras de identificación automática de número de placa y tuvo como objetivo conocer la respuesta de los automovilistas, poner a prueba la operación y la efectividad de la tecnología en diferentes condiciones de tránsito y clima, probar métodos de transferencia del costo social y analizar medios para detectar a infractores.

#### Tipo de experimento

La propuesta del gobierno fue introducir un mecanismo de transferencia de costos sociales de tipo cordón, con cámaras para la identificación automática de la placa del vehículo en dos accesos, centro histórico e inicio de la zona metropolitana.

Para evitar altos costos de infraestructura en la etapa experimental, el gobierno de la ciudad midió el impacto en dos corredores que formarían parte de los accesos al cordón interior, las vías Dean Bridge y Home Street.

#### Tecnología

Los dos corredores contaron con una cámara monocromática por carril para identificar la placa y otra a color para monitorear la confiabilidad de la tecnología. En ambas direcciones de Dean Bridge se instalaron cámaras para identificar las placas delanteras y las traseras. Las condiciones climáticas durante el experimento fueron normales, con períodos de reflejo solar de frente y detrás de cámaras, lluvia y niebla.

La base de datos se integró con el número de placa, el tipo de vehículo y el domicilio de los voluntarios. Cuando la placa identificada correspondía con la del vehículo de uno de los voluntarios, se verificaba si éste había procesado la transferencia del costo social generado por el uso de su auto, si era así, se borraba el registro, de lo contrario se enviaba una multa al domicilio del participante. Cuando la placa fotografiada no se encontraba en la base de datos, el registro era borrado por cuestiones de confidencialidad.

#### Reclutamiento de voluntarios

El gobierno de la ciudad trabajó en conjunto con una empresa que se encargó de reclutar a los voluntarios. Los candidatos debían de usar su vehículo particular de manera regular, ya fuera para transportarse a diario al trabajo o al menos una vez a la semana para ir de compras o por otros motivos. Además, los voluntarios debían de pasar por uno de los dos corredores para completar su viaje. Como parte del entrenamiento de los voluntarios se les explicaron los objetivos del experimento, y



participaron en encuestas y grupos de discusión. Originalmente se reclutaron 203 voluntarios, posteriormente desertaron 82, de manera que la muestra final incluyó a 121 personas.

Los voluntarios tenían la opción de obtener una licencia para usar su vehículo en esas avenidas por día o por semana. Para la transacción de los costos sociales, aplicables entre 7:00 y las 17:00 hrs, se adaptó un sistema de pago en ocho tiendas, cuatro localizadas en el cordón interior y el resto fuera de éste. El costo del peaje también podía transferirse por teléfono o por internet.

#### Duración del experimento

El experimento tuvo una duración de 18 meses, incluyendo el diseño del experimento, elección de proveedores de la tecnología y su instalación, reclutamiento de personal y de voluntarios, período de simulación del programa y análisis de resultados. La simulación del programa duró tres meses (del 16 de septiembre al 13 de diciembre de 2002), pero las cámaras continuaron operando hasta el 21 de febrero de 2003 para medir el comportamiento de los voluntarios con y sin la influencia de los costos sociales.

#### Problemas durante el experimento

Las imágenes fotográficas se compararon con imágenes de video para comprobar la confiabilidad de la tecnología. El principal problema que se presentó durante el experimento fue que las cámaras no eran capaces de identificar el número de placa de los vehículos que cambiaban de carril justo en frente a ellas. Hubo necesidad de reenfoclarlas, alinearlas e incluso instalar un tercer aparato. Por su parte, la reflexión solar o las condiciones climáticas adversas tuvieron un impacto mínimo en la detección correcta. Sin embargo, las cámaras mostraron erróneamente algunos dígitos, por ejemplo se confundía la letra D con la O, o la G con la C. El problema se agravaba con el uso de porta placas, micas o placas sucias.

Otro problema que se presentó fue que algunos voluntarios no entendieron perfectamente el funcionamiento del experimento. Aún cuando respondieron cuestionarios y participaron en grupos de discusión antes, durante y después del experimento, algunos voluntarios no conocían los alcances de la licencia para circular por esas avenidas, antes o después de realizar el viaje.

#### Resultados

El resultado más importante de este experimento fue confirmar la capacidad de la tecnología para detectar satisfactoriamente la placa de un vehículo, aún cuando algunas se detectan con error. En este sentido y para evitar el envío de multas equivocadas, es necesario comparar las fotografías y las imágenes de video, lo que puede incrementar los costos operativos del programa, aunque incrementan la confiabilidad del sistema.

Los resultados sugieren que la simulación de un costo social de £2 (43 pesos)<sup>20</sup> al día, por circular en cualquiera de los corredores reduciría el tráfico hasta en un 32%, se desincentiva así el uso del automóvil particular y se garantiza el derecho individual y colectivo a acceder al espacio público urbano.

## 8.2. Leicester (corredor y comunicaciones dedicadas de corto alcance)

Leicester es la décima ciudad más grande de Inglaterra con cerca de 300 mil habitantes y asciende a casi 450 mil tomando en cuenta su área metropolitana. La actividad económica incluye el proceso de alimentos, una industria de imprenta altamente desarrollada y manufactura de electrónicos y accesorios eléctricos.

Actualmente tiene un uso equitativo de la red vial como espacio público urbano, debido a que los niveles de tráfico no son tan preocupantes como para poner en riesgo el derecho de movilidad urbana. No obstante se introdujeron diversas políticas para reducir la dependencia del vehículo particular y así garantizar otros derechos colectivos, por ejemplo el de respirar un aire limpio.

Una de estas políticas es la restricción del uso del automóvil en la zona centro y la creación de estacionamientos del tipo 'park-and-ride' fuera de la ciudad. De hecho, Leicester fue la primera ciudad del Reino Unido en realizar un estudio piloto de cuantificación y control del uso del vehículo particular para medir la respuesta de los automovilistas, con el objetivo de incentivar el uso del transporte público y mejorar las condiciones ambientales.

### Tipo de experimento

El experimento se realizó en la avenida A47, uno de los corredores con acceso al centro de la ciudad. Antes del experimento se construyó cerca del corredor un estacionamiento con capacidad para 300 autos y se introdujo un sistema de autobuses con derecho de vía en el corredor para reducir el tiempo de viaje, haciéndolo más atractivos que al auto particular para transportar a los usuarios al centro de la ciudad. El costo total del experimento, incluyendo la construcción del estacionamiento y la inversión en autobuses fue de £3.5 millones (75 millones de pesos).<sup>21</sup>

### Tecnología

En el experimento se usó tecnología de comunicaciones dedicadas de corto alcance, con tres lectores a lo largo del corredor. Hubo necesidad de instalar una unidad en el parabrisas de los vehículos de los voluntarios y se utilizaron tarjetas de prepago.

<sup>20</sup> El tipo de cambio promedio en el mes de febrero de 2009, publicado por el BM en: <<http://www.banxico.org.mx>, fue de MXN\$21.50 por GBP£1.

<sup>21</sup> *Idem*.

El análisis de la información y su proceso para estimar la transferencia de los costos sociales generados, requirió el desarrollo de un sistema central de administración. Para informar a los usuarios sobre los costos sociales, los tiempos de viaje y los niveles de contaminación, se dispuso de indicadores electrónicos en dos de las vías de acceso al estacionamiento. La verificación de la confiabilidad de la tecnología se realizó mediante los itinerarios de viaje que cada voluntario registró diariamente.

#### Reclutamiento de voluntarios

Los automovilistas que se reclutaron trabajan en Leicester residen en el área metropolitana, por lo que fue necesario entender sus patrones de uso del auto. Al inicio se realizó una encuesta origen-destino, así como otras encuestas a automovilistas y familias. Al final se les invitaba a participar en el experimento.

Originalmente 200 personas mostraron interés en colaborar, aunque la muestra requerida era de 93 automovilistas. Al final sólo participaron 54 automovilistas voluntarios, el resto desertó.

A cada uno voluntario se le asignó un presupuesto que podía usar para pagar la tarifa del estacionamiento o para internalizar los costos sociales por usar su automóvil, los cuales eran mucho mayores. Además, recibieron una remuneración económica por participar en el experimento.

#### Duración del experimento

La simulación del programa duró 10 meses, de agosto de 1997 a mayo de 1998. En total se analizaron 12 escenarios con distintos parámetros y horarios de aplicación. Cada escenario tuvo una duración de 4 semanas, excepto por las 2 primeras que sirvieron de monitoreo del uso del vehículo y dos períodos de una semana para simular costos sociales ambientales. Los horarios de operación iban desde una hora, por ejemplo de 7:30 a 8:30 hrs, hasta las 24 horas del día, y oscilaron entre £1.5 y £10 (entre 32 y 215 pesos).<sup>22</sup>

#### Problemas durante el experimento

El único problema que se presentó fue la capacidad de la computadora central para almacenar la información y procesar las transferencias. Por ello, se suspendieron las transacciones de costos sociales mientras se resolvió el problema, que duró del 29 de septiembre al 24 de octubre de 1997.

#### Resultados

---

<sup>22</sup> *Idem.*

Los resultados indican que el 6% de los automovilistas utilizan el estacionamiento y los autobuses, la gran mayoría de los automovilistas prefiere utilizar otras rutas, aunque sean más largas. La probabilidad de que un automovilista utilice el estacionamiento aumenta mientras menor es la distancia entre la parada del autobús y su lugar de trabajo.

### **8.3. Bristol (corredor y sistemas de posicionamiento global)**

Bristol es la región urbana más grande en el suroeste de Inglaterra, ubicada a 160 kilómetros de Londres. Aunque el centro de la ciudad sólo cuenta con 400 mil habitantes, distribuidos en 110 km<sup>2</sup> de territorio, la región metropolitana alcanza un millón de habitantes. La economía de Bristol es de las más competitivas de Inglaterra, concentra actividades industriales, comerciales, educación y cultura. Recientemente se ha convertido en un punto de atracción para negocios que buscan reducir sus costos de operaciones en otras grandes ciudades como Londres, este proyecto lo impulsa el gobierno local con inversiones en infraestructura para oficinas, comercio y vivienda. British Telecom, la compañía de telefonía más grande del Reino Unido, y el Departamento de Transporte transfirieron sus centros de operación a Bristol.

La infraestructura vial de la ciudad de Bristol permaneció prácticamente sin cambios en los últimos 20 años para evitar incentivar el uso del vehículo particular e implementó carriles exclusivos para camiones de transporte público en una red de 15.2 kilómetros, mejoró la calidad de las paradas de camión al instalar tableros de información que comunican el tiempo de arribo de los autobuses. Para reducir el número de autos en circulación en el centro, construyó tres estacionamientos de tipo 'park-and-ride' fuera de la ciudad. A fin de fomentar el goce del derecho individual y colectivo de movilidad urbana.

Bristol cuenta con una estación de tren que la comunica con el resto de Inglaterra y Gales, transporta en promedio a 12 mil pasajeros al día. También tiene una red de ciclo vías de 50 kilómetros de longitud.

Debido al intenso desarrollo económico de los años recientes la ciudad tuvo un alza significativa en el número de viajes por automóvil, de estos casi el 60% son viajes de trabajo y significan el ingreso de 420 mil vehículos diarios desde la zona metropolitana hacia el centro de la ciudad. En los últimos 10 años las velocidades promedio en el centro disminuyeron de 25 a 17 km/h, generando niveles de contaminación que regularmente superan los estándares de calidad del aire. Esta situación también pone en peligro el pleno goce del derecho de acceso al espacio público.

Ante esta situación desde 1991 la ciudad de Bristol estudio la posibilidad de introducir diversos programas de control de uso de los espacios viales urbanos con tres objetivos principales:

- a) Reducir el uso del vehículo particular y aumentar la demanda de transporte público
- b) Mantener la vitalidad de la economía de la ciudad
- c) Generar recursos adicionales para invertir en infraestructura para otros modos de transporte.

En Bristol se realizaron 3 experimentos de cuantificación y control del uso del vehículo. Los dos primeros utilizaron comunicaciones dedicadas de corto alcance en las carreteras A4 con dirección de Bath hacia Bristol, y en la M32 que comunica a Bristol con el área metropolitana del norte, respectivamente. El proyecto de la carretera A4 se desarrolló en 1998 con la participación de 116 voluntarios y sugiere que la aplicación de un costo social de £4.85 (104 pesos)<sup>23</sup> reduciría el tráfico en 15%, mientras el experimento de la carretera M32, en el que intervinieron casi 300 voluntarios en el año 2000, señaló que el tráfico se reduciría en 10.5% al aplicarse un costo social de £3 (65 pesos).<sup>24</sup> Estos experimentos permitieron conocer la respuesta de los automovilistas y la confiabilidad de la tecnología.

En el tercer experimento se evaluó la circulación en los dos corredores, A4 y M32, y en la carretera M4, que comunica a Bristol con Cardiff al poniente y con Londres al oriente, y en la M5, que comunica a Bristol con Birmingham al norte y con Exeter al sur. El nuevo experimento tuvo por objeto verificar la efectividad de la tecnología satelital para detectar la ubicación de los vehículos, medir su distancia recorrida, y conocer los patrones de viajes de los vehículos de carga, ya que el experimento únicamente utilizó camiones de carga y vehículos comerciales y de servicios.

Además de estos corredores se simuló un cordón en el centro de Bristol, experimento que se describe a detalle en la sección 9.3. La realización de éste respondió a una propuesta del gobierno Británico para introducir esquemas de control al acceso de las vialidades urbanas basada en la distancia recorrida de los vehículos de carga que utilizan la red de carreteras, una propuesta similar a los esquemas que operan en Austria y Alemania.

#### Tipo de experimento

Los parámetros de los costos sociales estuvieron en función de la distancia recorrida en cada uno de los corredores, la hora del día, y el tipo de vehículo (camioneta, autobús, camión de entre 3.5 y 7.5 toneladas, camión entre 7.5 y 17 toneladas, y camiones de más de 17 toneladas). El experimento simuló cuatro escenarios distintos con diferentes horarios de operación y distintas definiciones de hora pico.

---

<sup>23</sup> *Idem.*

<sup>24</sup> *Idem.*



## Tecnología

Se instaló equipo para la identificación satelital de la posición del vehículo que constaba de tres elementos principales: 1) equipo a bordo del vehículo, 2) un sistema para la comunicación de la información, y 3) un centro de operaciones. El equipo a bordo del vehículo podía instalarse en el tablero, la guantera o debajo del asiento del pasajero y contenía un cable conectado a la marcha, un receptor GPS con una antena montada en el techo del auto y una pequeña computadora con software de información geográfica de la región y con capacidad para el cálculo de los costos de traslado. Esta computadora era capaz de acumular información sobre las últimas 50 transacciones en caso de que hubiera problemas de comunicación con la computadora central.

La distancia recorrida se calculó por medio de un proceso de segmentación del viaje. La computadora a bordo del vehículo calcula la distancia dependiendo de la ubicación física, junto con mapas de la ciudad que incluyen la longitud de distintos segmentos de cada corredor. La distancia aumenta en medida que aumenta el número de segmentos recorridos. La computadora también calcula el costo del viaje dependiendo de la tarifa correspondiente según la hora del día y el tipo de corredor. Además se utilizaron cámaras de identificación automática de placas para verificar la efectividad de la tecnología satelital y como respaldo para identificar a infractores.

## Reclutamiento de voluntarios

Dado que el experimento no intentó analizar la respuesta de distintos usuarios sino la efectividad de la tecnología, las características de los voluntarios no fueron importantes, solamente el número de unidades en operación. Reclutaron a 50 voluntarios de distintas empresas de transporte, con operaciones tan diversas como transporte de sus propias mercancías, empresas de renta de camiones, compañías de envío de correo, vehículos de mantenimiento del municipio, operadores de servicios de telefonía y autobuses de pasajeros.

## Duración del experimento

El experimento práctico se efectuó durante 4 meses del otoño de 2003, sin embargo el proyecto tuvo una duración total de 2 años y 6 meses, durante los cuales se diseñó la tecnología, se contactaron empresas, se reclutaron voluntarios, se instalaron los equipos y se analizaron los datos.

## Inconvenientes durante el experimento

Fue necesario un proceso de segmentación de los corredores para definir con exactitud la distancia recorrida por cada vehículo, esto debido a que la tecnología GPS utilizada no permite identificar ininterrumpidamente la posición del vehículo, solo cada 100 metros aproximadamente. Cada corredor se dividió en segmentos de 100 metros,

sin embargo, cuando los vehículos no recorren segmentos completos el sistema no es capaz de medir la distancia que recorren dentro de éste. La limitación implica que el cálculo de las distancias recorridas siempre es menor a la distancia real que se recorre. El cálculo no presenta problemas significativos cuando se utiliza en carreteras o vialidades principales donde únicamente hay riesgo de no contar la distancia recorrida en el último segmento del viaje, pero su confiabilidad disminuye cuando se utiliza en áreas urbanas, ya que debido al número de intersecciones y al diseño de la red vial, la probabilidad de no contabilizar algunos segmentos aumenta significativamente.

Como en otros experimentos, el problema de la confiabilidad de las cámaras lectoras de placas para identificar a infractores, estuvo presente, ya que en ocasiones se 'leyeron' incorrectamente el número o letra. La solución consistió en instalar cámaras de video supervisadas desde un centro de control, después se compararon manualmente con fotografías de vehículos infractores. La desventaja de este método es que requiere de altos costos de operación.

## Resultados

La tecnología funciona aceptablemente, con niveles de confiabilidad similares a los de identificación automática de placa. Sin embargo, para comprobar la tecnología solamente se instalaron cámaras en dos accesos al cordón, por lo que se desconoce la confiabilidad de la tecnología satelital en el resto del área.

### **8.4. Gotemburgo (corredor y sistemas de posicionamiento vehicular)**

Después de Estocolmo, Gotemburgo es la segunda ciudad más poblada de Suecia, con cerca de 500 mil habitantes y casi 900 mil sumando su área metropolitana. Cuenta con el puerto más grande de los países Escandinavos y su economía está dominada por su actividad portuaria. Su actividad industrial también es importante, la empresa Volvo tiene su centro de operaciones en ella y cuenta con la población estudiantil más grande de Escandinavia.

Su infraestructura de transporte público es extensa, tiene 12 líneas de tranvías que suman en total 120 kilómetros, cuenta además con una amplia red de autobuses urbanos y una red de ciclo vías de 380 kilómetros. Sin embargo, su área metropolitana tiene una extensión de casi 3,000 km<sup>2</sup>, lo que propicia el uso del automóvil particular. El número de éstos asciende a 387 por cada 1 000 habitantes y cada vehículo recorre en promedio 35 kilómetros diarios.

Aunque el tráfico vehicular no es tan denso como en otras ciudades y aún se garantiza el derecho de movilidad urbana, las autoridades buscan medidas para reducir las emisiones contaminantes de fuentes móviles y salvaguardar otros derechos colectivos como el de un medio ambiente limpio de ruido y libre de contaminación del aire. En



Gotemburgo por ejemplo, los camiones de carga de 3.5 toneladas o más, no pueden circular en una zona de 15 km<sup>2</sup> cero emisiones en el centro de la ciudad. A pesar de esta medida, las emisiones vehiculares contribuyen con más del 20% del dióxido de carbono y óxido de nitrógeno.

Por lo referido antes, las autoridades decidieron implementar un mecanismo para garantizar el derecho colectivo a respirar aire limpio, para reducir el tránsito vehicular y la contaminación del aire. Al mismo tiempo se planeó evaluar la tecnología disponible y crear un debate junto con los medios de comunicación para conocer la opinión pública.

#### Tipo de experimento

El experimento se desarrolló principalmente sobre el corredor E6 que cruza la ciudad de norte a sur y pasa a un costado del centro. El costo social estimado por kilómetro recorrido sobre esta avenida fue de SEK\$7 (12 pesos)<sup>25</sup> únicamente aplicable entre 7:30 y 8:30 am. Para evitar la desviación de los vehículos hacia avenidas lentas en zonas residenciales se aplicó un costo social de SEK\$5 (8.50 pesos)<sup>26</sup> por kilómetro en avenidas cercanas. La tarifa tenía como objetivo medir su efectividad en la reducción del tráfico en horas pico, debido a que los vehículos tienden a contaminar más cuando viajan a velocidades bajas. Cada participante contó con un presupuesto mensual que se asignó según el uso de su vehículo durante la primera semana del experimento.

#### Tecnología

La tecnología utilizada durante el experimento se basó en sistemas de posicionamiento vehicular. La principal diferencia de este experimento con el de Bristol, radica en que los corredores se localizaron en zonas urbanas densamente construidas, que aumentaron las posibilidades de bloqueo de la señal satelital. El equipo que se instaló en cada vehículo de los voluntarios está formado por tres partes: 1) una pequeña computadora que contiene un programa que hace el cálculo de los costos sociales, un teléfono con comunicación GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles) para comunicación entre el vehículo y la computadora central, además de un programa con información sobre mapas de la ciudad, 2) un organizador personal tipo Palm Pilot, instalado en el tablero del vehículo, que proporciona información al usuario (costo social aplicable, hora del día, presupuesto disponible, y costo acumulado del viaje), y 3) una antena GPS (Sistema de Posicionamiento Global), instalada en el techo del auto para recibir la señal del satélite y poder ubicar la posición del vehículo. El sistema es capaz de ubicar la posición del auto una vez cada 100 metros, y con base en esta información calcula la distancia recorrida.

<sup>25</sup> El tipo de cambio promedio en el mes de febrero de 2009, publicado por el BM, fue de MXN\$1.69 por SEK\$1. Disponible en: <<http://www.banxico.org.mx>>

<sup>26</sup> *Idem*.



La pequeña computadora calcula los costos generados a la sociedad según la posición del vehículo y la distancia recorrida. Envía esta información a la computadora central para procesar el pago. La información se envía por medio de una llamada telefónica automática cuando se enciende el vehículo por primera vez en el día. Cada usuario puede revisar los movimientos en su cuenta mediante una página electrónica o en el organizador personal cuando el vehículo no está circulando.

Una ventaja del equipo a bordo es que tiene un módulo con información sobre disponibilidad de estacionamiento en la vía pública, que indica en tiempo real los lugares de estacionamiento más cercanos al vehículo. Además incluye los costos sociales aplicables según la hora del día, y el tiempo máximo autorizado para estacionarse.

#### Reclutamiento de voluntarios

Previa selección aleatoria de posibles automovilistas participantes, se realizaron llamadas telefónicas para explicar el experimento, si había interés se enviaba por correo más información o se les invitaba a una presentación. Dos de cada siete personas contactadas aceptó participar en el experimento, aunque al final la mitad decidió no formar parte del proyecto debido a su preocupación por la instalación de un equipo electrónico en sus vehículos. En total participaron 255 automovilistas voluntarios.

#### Duración del experimento

El experimento inició en marzo de 2002 y concluyó en junio de 2003, aunque el periodo de preparación del proyecto y análisis de datos fue mayor. Se simularon cinco escenarios con duración de siete a nueve semanas y con distintos voluntarios. Los escenarios incluyeron parámetros por circular en determinadas avenidas. También se simularon 3 cordones con distintos parámetros por kilómetro recorrido, como se indica en la sección 9.5.

#### Problemas durante el experimento

El experimento presentó diversos problemas principalmente por el tipo de tecnología utilizada. Por ejemplo, las computadoras a bordo de los vehículos no siempre registraron la ubicación del vehículo por problemas de señal entre la antena y el satélite, ya que la altura de algunos edificios no permite establecer comunicación. En la actualidad este problema se ha minimizado con el uso de tecnologías recientes y antenas de más calidad. También hubo problemas de comunicación entre el vehículo y la computadora central, lo que incrementó los costos del proyecto, ya que cada intento de llamada de teléfono con tecnología GSM tiene un alto costo. Esto puede resolverse mediante el uso de la tecnología GPRS (Servicio General de Radio por Paquete) que es más económica y confiable.



Se presentaron problemas como la pérdida de equipo a bordo de vehículos, los cuales se enviaron de las fábricas a los talleres para su instalación y no fueron entregados. Además algunos voluntarios que aceptaron participar no acudieron a la cita para la instalación del equipo en sus vehículos. Finalmente, el periodo inicial de monitoreo del uso del vehículo para definir el presupuesto que se le asignaría a cada voluntario fue sólo de una semana, pero algunos voluntarios decidieron no utilizar su vehículo, por lo que no se les asignó presupuesto. La solución fue extender el periodo de monitoreo a al menos un mes.

## Resultados

Introducir programas de cuantificación y control de uso del vehículo particular en la hora pico de la mañana redujo el tráfico en un 15% durante el periodo de estudio, sin embargo el número de kilómetros recorridos no necesariamente se reduce, ya que la mayoría de los automovilistas cambian su hora de viaje para evitar internalizar el costo social que le generan a la sociedad, pero no cambian el modo de transportarse.

## 9. Experimentos de cordón

En esta sección se describen las características de experimentos piloto de cuantificación y control de acceso a los espacios viales públicos basados en cordones. La sección se divide en siete partes. Las primeras cuatro partes describen experimentos con costos sociales aplicables por cruzar cordones con el uso de tres tecnologías distintas: 1) identificación automática de placa en un cordón de 1 km<sup>2</sup> en el centro histórico de Génova, 2) comunicación dedicada de corto alcance en la ciudad de Estocolmo utilizando a todos los vehículos registrados en la ciudad, y 3) GPS en Bristol y Copenhague. Las siguientes dos partes describen otros dos experimentos de Gotemburgo y Copenhague, basados en distancia recorrida dentro de cordones. La última parte describe el experimento del estado de Oregón, sostenido en distancia recorrida dentro de cordones con tecnología GPS y lectura de odómetro.

### 9.1. Génova (cordón e identificación automática de número de placa)

La ciudad de Génova, famosa por tener uno de los centros históricos más grandes de Europa, es la capital de Liguria, la región norte de Italia. Su economía depende principalmente de su puerto, uno de los más importantes del mar mediterráneo, de actividades comerciales y de servicios. Su población se estima en aproximadamente 650 mil habitantes, la mayoría de ellos con domicilio al oriente y poniente del centro histórico. La ciudad está delimitada al norte por montañas y al sur por la costa del mar mediterráneo, lo que genera que la mayoría de los viajes pasen por las calles angostas del centro histórico. Además la ciudad se caracteriza estar densamente poblada, y cuenta con una limitada red de transporte público, por esta razón tiene una de las tasas de parque vehicular más altas de Europa, con 555 vehículos por cada 1 000 habitantes y

la mitad de los viajes diarios se hacen por auto. Esto ocasiona problemas para garantizar el derecho individual y colectivo a acceder a los espacios públicos, además de un incremento en la contaminación del aire.

El gobierno de la ciudad decidió llevar a cabo un experimento para evaluar un programa de tipo cordón que garantizará el derecho a la libre circulación sin tráfico en el centro. El objetivo fue introducir parámetros de costos sociales por circular en el centro histórico para desincentivar el uso del automóvil privado y aumentar la demanda de transporte público, para eventualmente reducir la contaminación del aire y la saturación de los espacios públicos. El proyecto también buscaba poner a prueba la confiabilidad de la tecnología disponible e informar al público para crear foros de discusión y conocer su opinión.

#### Tipo de experimento

Aunque el programa se propone para un área de 4.5 km<sup>2</sup>, el experimento sólo se limitó a la zona histórica que tiene un espacio de 1 km<sup>2</sup> aproximadamente. Se utilizaron dos escenarios, el primero con la simulación de costos sociales equivalentes a €1 (19.20 pesos) y el segundo de €2 (38.40 pesos) aplicable cada vez que el vehículo cruzara el cordón entre las 7:00 y 20:00 hrs.<sup>27</sup> Cada voluntario contó con un pase gratuito de transporte público y con un presupuesto mensual para cubrir los costos sociales en caso de que utilizaran su vehículo. Además se pidió a cada voluntario llenar una bitácora de transporte, con información diaria sobre el uso de su automóvil, tipo de viaje y costo, entre otra información.

#### Tecnología

El área sujeta al mecanismo de retribución por uso y acceso del espacio público, ya fuera con motivos del experimento (1 km<sup>2</sup>) o para implementación de un proyecto real (4.5 km<sup>2</sup>), favorece el uso de la tecnología de identificación automática del número de placa, ya que no requiere de la instalación de equipos a bordo de los vehículos y es relativamente barata y confiable. Esta fue adoptada para el experimento en ocho avenidas con acceso a la zona del centro.

Las cámaras tienen capacidad de identificar las placa de 1 800 vehículos por hora por carril con distancia mínima entre vehículos de 1.5 metros. Si la placa del vehículo coincidía con la de uno de los voluntarios, la información se transmitía periódicamente por teléfono vía red ISDN (Red Digital de Servicios Integrados) a un centro de operaciones para verificar si se había efectuado la transacción.

#### Reclutamiento de voluntarios

---

<sup>27</sup> El tipo de cambio del 23 de marzo de 2009, publicado por el BM fue de MXN\$19.20 por €1. Disponible en: <<http://www.banxico.org.mx>>



El gobierno contrató a una empresa para que reclutara a 150 voluntarios con un margen de error de 15%, debido a que en este tipo de experimentos los voluntarios deciden no participar justo al inicio de los mismos. La técnica de reclutamiento consistió en repartir 1 000 trípticos a automovilistas que circularan dentro del cordón, también se difundió el proyecto en el periódico local. Originalmente 220 personas se interesaron en participar, pero con el fin de utilizar una muestra representativa, solo se invitó a 161 participantes. Cada voluntario contó con un presupuesto para cruzar el cordón una vez al día, 6 días a la semana, por un periodo de 6 meses.

#### Duración del experimento

El proyecto tuvo una duración de 18 meses, desde su diseño hasta el análisis de resultados. Las cámaras se instalaron entre septiembre de 2002 y enero de 2003, el experimento se realizó entre marzo y agosto de 2003, los primeros tres meses con un costo social de €1 cada vez que se cruzara el cordón y los siguientes 3 meses con un incremento del 100%.

#### Problemas durante el experimento

El primer problema fue el retraso de la autorización para instalar cámaras en la zona histórica por parte de las autoridades municipales. También hubo problemas con las instalaciones eléctricas y de telefonía. En cuanto a la operación del proyecto, las cámaras sólo detectaron al 79% de los vehículos que cruzaban los accesos al cordón, ya que el nivel de tráfico no permitía que hubiera una distancia mínima de 1.5 metros entre vehículos, requisito de la tecnología para detectar la placa. Además, 7% de las placas que se observaron fueron identificadas incorrectamente y las placas de algunas motos no se identificaron debido a sus caracteres y tamaño.

Otro problema fue el bloqueo del sistema en cuatro ocasiones en dos de los accesos al cordón, por lo que no se identificaron los vehículos durante el período de re-inicio de los equipos. Fue necesario cambiar la tarjeta madre en dos de los accesos.

#### Resultados

Los datos del proyecto sugieren que la aplicación de parámetros que reflejen costos sociales bajos no garantiza el derecho individual y colectivo de movilidad urbana. Además los costos de operación del sistema podrían superar la recaudación adicional por concepto de internalización de costos sociales. Con el escenario de los costos sociales de €2 cada vez que se cruza el cordón, se reduciría hasta en un 20% el número de vehículos en el centro histórico





## 9.2. Estocolmo (cordón y comunicaciones dedicadas de corto alcance)

La ciudad de Estocolmo es la capital de Suecia, cuenta con cerca de 800 mil habitantes que ascienden a casi 2 millones sumando su área metropolitana. Es el centro económico y financiero de Suecia, es famosa internacionalmente por su industria de tecnologías de información y comunicaciones. Cuenta con un sistema de transporte de primer mundo, sin embargo, el alto poder adquisitivo de su población favorece la compra de automóviles, lo que genera severos problemas de acceso equitativo de la red vial como espacio público principalmente en el centro. Por esta razón el gobierno de la ciudad, realizó un experimento de control al acceso de las vialidades urbanas para determinar el impacto en los volúmenes de tráfico, en las velocidades de los autobuses de transporte público, en las emisiones contaminantes y en la recaudación de impuestos.

### Tipo de experimento

Se experimento un modelo de tipo cordón alrededor de un área de casi 30 km<sup>2</sup> en el centro de la ciudad. Los desincentivos económicos varían según la hora del día, oscilando entre 16 y 32 pesos, aplicables cada vez que se cruza el cordón entre 6:30 y 18:30 hrs, con un parámetro máximo diario por vehículo de 103 pesos.

### Tecnología

La tecnología utilizada fue de comunicaciones dedicadas de corto alcance, lo que permite identificar un vehículo cuando cruza un cordón mediante comunicación de microonda entre el chip del auto y el equipo instalado en los accesos al cordón. Además se utilizaron cámaras de identificación de placa para detectar a infractores que hubieran retirado el chip de su vehículo. En total hay 19 accesos al cordón, todos equipados con tecnología. Cuando el vehículo cruza la zona, en cualquier dirección, el sistema procesa la transferencia que se hace automáticamente a la tarjeta de crédito del usuario, o a una cuenta de prepago.

### Reclutamiento de voluntarios

En este experimento se utilizaron todos los automóviles registrados en la ciudad, no se otorgó un presupuesto mensual y cada usuario utilizó sus propios recursos para internalizar los costos sociales que generaron. Cada automovilista instaló de forma gratuita un chip para identificar a su vehículo.

### Duración del experimento

El experimento tuvo un costo de 5 500 millones de pesos, duró seis meses, de enero a junio de 2006, al concluir el experimento se realizó un referendo de tres meses

para decidir si se introduciría el programa de forma definitiva. El 53% de los votantes apoyaron la introducción definitiva del programa e inició su operación en agosto de 2007.

#### Problemas durante el experimento

La duración del experimento se planeó para un año, sin embargo, debido a problemas legales y de contratos con las empresas que diseñaron la tecnología se retrasó su inicio. Finalmente solo duró seis meses. La selección de la empresa que operaría el proyecto se dificultó y se resolvió en la corte, esto significó la suspensión de operaciones del experimento un mes.

También se presentaron casos de chips que no funcionaron correctamente y no eran identificados por los lectores instalados en los accesos al cordón, lo que significaba una multa para el automovilista.

#### Resultados

El programa redujo el uso del vehículo particular aproximadamente en 18% dentro del cordón y la demanda de transporte público aumentó en promedio 10%.

### **9.3. Bristol (cordón y sistemas de posicionamiento vehicular)**

El experimento efectuado en Bristol (descrito antes en la sección 8.3) consistió en simular un cordón en el centro de la ciudad y así evaluar la confiabilidad de la tecnología para identificar a los vehículos que lo cruzan.

#### Tipo de tarificación

El cordón que se definió para el experimento coincide con la propuesta del gobierno de Bristol, cuenta con 14 accesos a la zona del centro. Los costos sociales son aplicables cada vez que se cruza el cordón, con parámetros mayores en horas pico y costos variables según el tipo de vehículo (carga o comercial).

#### Tecnología

El sistema creó digitalmente 100 puntos alrededor del cordón para identificar a los vehículos, para lo cual se colocaron dos cordones digitales con separación física de 200 metros. La transacción sólo se realiza si el sistema detecta que un vehículo cruza ambos cordones virtuales.

#### Problemas durante el experimento

Los sistemas de posicionamiento vehicular tienen dificultad para identificar la posición exacta del vehículo cuando se interrumpe la señal entre el satélite y la antena



del auto. Este problema se presenta con mayor frecuencia cuando el vehículo se ubica cerca de edificios altos o en túneles. Sin embargo, no fue tan importante porque el cordón se definió de tal manera que se minimizaron el número de obstrucciones de la señal satelital. Además, en este experimento las tarifas se aplican de acuerdo a la posición del auto, según los mapas instalados en el equipo a bordo, únicamente con ayuda limitada del satélite. Es importante mencionar que aún con estas ventajas, en algunas ocasiones la tecnología no es capaz de identificar la posición correcta.

#### **9.4. Copenhague (cordón y sistema de posicionamiento vehicular)**

Copenhague, capital de Dinamarca, es la ciudad más grande de los países Escandinavos, tiene una población de cerca de 1.8 millones de habitantes. Su actividad económica se basada en el sector financiero y de servicios, funciona como el centro de las operaciones económicas y financieras de Escandinavia. Diversas empresas y organizaciones internacionales tienen oficinas en esta ciudad, además cuenta con el Parlamento Danés y algunas instituciones educativas. La construcción de un nuevo puente entre Copenhague y Malmo, en Suecia, ha fomentado la creación de empleo, crecimiento económico y la formación de una nueva área económica con aproximadamente 3 millones de habitantes.

La infraestructura para transporte público es de gran calidad y extensa. Cuenta con un metro automático sin necesidad de conductor y con una amplia red de trenes y autobuses metropolitanos. Además el uso de la bicicleta es una tradición para ir al trabajo en la zona centro de la capital Danesa. Sin embargo, aunque cuenta con solo 220 vehículos por cada 1 000 habitantes, las velocidades promedio se han reducido de 34 a 29 km/hr en horarios pico en los últimos 10 años, ya se presentan problemas de congestión vial en varias zonas de la ciudad, restringiendo el derecho de acceso al espacio público.

El problema del tránsito se creó principalmente porque la capacidad de la red vial disminuyó debido a la creación de ciclo vías y carriles para uso exclusivo de autobuses, pero estas medidas no redujeron el uso del vehículo particular. La partición modal de viajes al trabajo continúa siendo 1/3 en transporte público, 1/3 en bicicleta y 1/3 en coche.

Ante esto y debido a que otras políticas de transporte han sido poco efectivas para reducir el uso del auto particular, el gobierno de la ciudad exploró la posibilidad de introducir mecanismos de transferencia de costos sociales para desincentivar el uso del vehículo particular, para esto se realizó un experimento de cuantificación y control de ingreso a los espacios públicos para predecir la efectividad de una política que incentive el uso de otros modos de transporte y se ejerza el derecho de movilidad urbana.

## Tipo de experimento

El experimento consistió en evaluar el número de ocasiones que un vehículo cruza diversos cordones y comparar con otro experimento basado en kilómetros recorridos (descrito en la sección 9.6).

El área con mayor congestión vial en Copenhague abarca 250 km<sup>2</sup> aproximadamente y se dividió en 11 zonas, a cada una se le asignó un costo social que se aplica cada vez que se cruza un cordón. Los costos más altos se aplican por cruzar cordones cerca del centro, con parámetros de €1.61 (31 pesos) y se reducen al alejarse del centro, con niveles de solo €0.26 (5 pesos), además se aplica un descuento de 50% por viajar en horas no pico.<sup>28</sup>

## Tecnología

La tecnología usada fue un sistema de posicionamiento vehicular, que además era flexible en caso de que se decidiera cambiar el diseño de los cordones virtuales y contó con seis elementos: 1) un módulo para determinar la posición del vehículo, 2) un mapa digital de la ciudad para definir zonas, 3) un módulo con información sobre tarifas por tipo de zona y hora del día, 4) un programa para calcular el costo generado a la sociedad, 5) un módulo para realizar la transacción, y 6) una interfaz para establecer comunicación entre el usuario y una computadora central.

En este experimento la frecuencia para identificar la posición del vehículo vía satélite mejoró sustancialmente, disminuyendo de una distancia promedio de 100 metros a sólo 5 metros. Este incremento en precisión permite mejorar la confiabilidad de la tecnología para determinar el lugar exacto donde se cruza un cordón.

Al igual que otros experimentos, el proyecto de Copenhague utilizó un equipo a bordo del vehículo instalado en el tablero del vehículo en un lugar visible para que el conductor pudiera monitorear las tarifas aplicables, conectado a la marcha y una antena tipo GPS dentro del auto o en el techo.

## Reclutamiento de voluntarios

Los requisitos para reclutar a los voluntarios fueron: que trabajaran y vivieran dentro de la ciudad de Copenhague, que tuvieran un sólo vehículo por familia (para evitar que los voluntarios tuvieran a su disposición otro y que simplemente dejaran de usar uno durante la duración del experimento y así beneficiarse del presupuesto otorgado), y que estudiaran o trabajaran tiempo completo.

---

<sup>28</sup> El tipo de cambio del 23 de marzo de 2009, publicado por el BM fue de MXN\$19.20 por €1. Disponible en: <<http://www.banxico.org.mx>>

Se contactaron alrededor de 25,000 voluntarios para elegir una muestra de 500. Al final se instalaron 487 equipos debido a que algunas personas decidieron no participar justo al inicio del proyecto. De estos, 389 participaron en un programa en el que se les asignaba un presupuesto imaginario al inicio del proyecto y se les otorgaba el remanente (dinero real) al final del experimento. A otro grupo de voluntarios, 98 participantes, se les otorgó dinero real al inicio del programa. El objetivo fue medir psicológicamente si había diferencia de comportamiento debido a la diferencia de presupuestos.

#### Duración del experimento

El experimento comenzó en el verano de 2001 y concluyó en el otoño de 2003. Cada voluntario participó en dos escenarios con parámetros de costos sociales distintos y cada uno tuvo una duración aproximada de 2 meses. Aún cuando los equipos habían sido desmontados de los vehículos, las personas debían participar en grupos de discusión y responder encuestas sobre su experiencia en el proyecto.

#### Problemas durante el experimento

Diversos problemas se presentaron, atribuibles a la empresa que diseñó la computadora a bordo del vehículo o debido a la calidad de la señal satelital. Algunos de los problemas fueron: 1) equipos que dejaron de funcionar por sobrecalentamiento, 2) pérdida de la señal entre el vehículo y el satélite, 3) identificación incorrecta de la posición del auto, 4) falta de señal satelital en vehículos específicos por interferencia con el equipo electrónico del mismo, y 5) consumo total de la batería del vehículo. Como en otros experimentos, algunos voluntarios no entendieron el funcionamiento del programa, la definición de zonas o el monto de las tarifas.

#### Resultados

Los resultados señalan que 26% de los voluntarios modificaron sus patrones de viaje para evitar los cordones dentro de la ciudad donde la saturación de avenidas es mayor y donde está en riesgo el derecho a la movilidad urbana. Los principales efectos del programa fueron el cambio de ruta (principalmente para viajes que no fueran al trabajo), el aumento del número de pasajeros por vehículo y cambios en el destino o la hora del viaje. Sin embargo, los efectos en reducción del número de viajes y cambio de modo de transporte fueron marginales.

### **9.5. Gotemburgo (cordón, distancia recorrida y GPS)**

El objetivo de este experimento, al igual que el descrito en la sección 8.4, consistió en implementar un mecanismo para garantizar el derecho colectivo a respirar aire limpio, para reducir el tránsito vehicular y la contaminación del aire.

#### Tipo de experimento

En este experimento se definieron tres cordones, uno para delimitar el centro de la ciudad en Gotemburgo, el segundo para la zona comercial y financiera, el tercero abarcó las zonas residenciales de los suburbios. Los costos sociales estimados por kilómetro recorrido fueron de SEK\$1(1.70 pesos), SEK\$0.40 (0.70 pesos) y SEK\$0.20 (0.35 pesos), respectivamente, y se aplicaron las 24 horas del día.<sup>29</sup>

#### Problemas durante el experimento

Aunque el desempeño de la tecnología para detectar la ubicación del vehículo fue relativamente aceptable en el experimento de tipo corredor, incluso en una zona urbana densamente construida, los resultados no fueron tan satisfactorios cuando hubo necesidad de localizar a los vehículos en calles angostas, con curvas o cuando dan vueltas continuamente.

#### Resultados

Es mayor el efecto de internalizar los costos sociales generados diferenciados por lugar, hora y distancia recorrida que únicamente aplicar parámetros en determinadas avenidas en horas pico. El total de kilómetros recorridos se reduce aproximadamente en 10% y se logra un cambio significativo en el modo de transporte, se favoreció principalmente el uso de bicicletas cuando la distancia entre el lugar de residencia y el lugar de trabajo es corta. También se logra un incremento en el número promedio de pasajeros por vehículo.

### 9.6. Copenhague (cordón, distancia recorrida y GPS)

Además de simular un programa de restricción al uso excesivo del auto particular cada vez que se cruza un cordón, la ciudad de Copenhague realizó un experimento para cuantificar el kilometraje recorrido dentro del cordón.

#### Tipo de experimento

La ciudad se dividió en cuatro zonas y se simularon dos escenarios, ambos con costos sociales más altos en el centro y más bajos hacia la periferia. En el primero, el parámetro mayor fue de €0.67 (13 pesos) por kilómetro, el menor fue de €0.13 (2.50 pesos) por kilómetro y se redujeron 50% en las horas no pico. En el segundo escenario

---

<sup>29</sup> El tipo de cambio promedio en el mes de febrero de 2009, publicado por el BM fue de MXN\$1.69 por SEK\$1. Disponible en <<http://www.banxico.org.mx>>

los costos sociales oscilaron entre €0.33 (6.35 pesos) y €0.07 (1.35 peso) por kilómetro recorrido y sólo se aplicaron en horas pico.<sup>30</sup>

## Tecnología

La tecnología fue similar a la usada en el primer experimento, sistemas de GPS, mapas y una alta confiabilidad en la medición de la distancia recorrida y ubicación del vehículo. La exactitud para calcular la tarifa fue mayor que en los experimentos de Bristol y Gotemburgo, dado que la frecuencia de la señal satelital fue recibida cada 5 metros en lugar de cada 100 metros. Los problemas fueron similares a los indicados en la sección 8.4.

## Resultados

Los resultados muestran que es posible diseñar programas de cuantificación de uso del espacio vial público basados en distancia recorrida, lugar del viaje, hora del viaje y tecnología GPS. En comparación con las tarifas por cruzar cordones, los usuarios opinaron que representar los costos sociales basados en el número de kilómetros recorridos es más justo y también tiene un impacto mayor en la disminución del tráfico cuando se aplican las restricciones durante todo el día.

Un resultado interesante de este estudio es que el impacto en el número de kilómetros recorridos es mayor cuando se entrega dinero real a los voluntarios al inicio del programa, en lugar de asignarles una cuenta en la que pueden obtener un beneficio económico al final del programa.

### **9.7. Oregón (cordón, distancia recorrida, GPS y odómetro)**

El estado de Oregón se ubica en la costa oeste de Estados Unidos, al norte de California, tiene una población de 3.7 millones de habitantes. La economía del estado se basa en agricultura, ganadería y silvicultura, es el estado Americano con mayor producción de vino y salmón. Su ciudad más poblada es Portland, con cerca de 600 mil habitantes.

Aunque la garantía del derecho a acceder al espacio público urbano no es una preocupación importante en Oregón, el gobierno del estado decidió realizar un experimento para cuantificar el uso del vehículo particular y reemplazar el impuesto a la gasolina. Cabe señalar que la recaudación del gobierno estatal por concepto de impuesto a la gasolina, ha disminuido en los últimos años gracias a la eficiencia de los vehículos nuevos y la reducción del consumo de gasolina. En el experimento se verificó

---

<sup>30</sup> El tipo de cambio del 23 de marzo de 2009, publicado por el BM fue de MXN\$19.20 por €1. Disponible en: <<http://www.banxico.org.mx>>



la confiabilidad de la tecnología y se predijo la reducción de los kilómetros recorridos totales.

El experimento tuvo un costo cercano a 3 millones de dólares (36 millones de pesos)<sup>31</sup> y fue financiado entre el gobierno federal y el gobierno del estado.

#### Tipo de experimento

Para su implementación se definieron dos cordones virtuales, uno para delimitar a la ciudad de Portland y otro para delimitar al estado de Oregón, creando tres zonas, dos al interior y una afuera del estado.

Los voluntarios se dividieron en dos grupos, en el primero los costos sociales por milla recorrida se estimaron en US\$0.012 (0.17 pesos), equivalente al actual impuesto a la gasolina de US\$0.24 (3.40 pesos) por galón. Al segundo grupo se le aplicó un costo social de US\$0.10 (1.42 pesos) por milla, casi ocho veces más que el impuesto actual, por circular dentro del cordón de Portland entre las 7:00 y 9:00 hrs y entre 16:00 y las 18:00 hrs. Los costos sociales fuera en horas pico fueron de US\$0.0043 (0.06 pesos) por milla.

El experimento se dividió en dos etapas, durante cinco meses se monitoreó el uso de los vehículos para formar un escenario base y durante cinco meses se aplicó el programa de cuantificación de millas recorridas.

#### Tecnología

El experimento utiliza un modelo híbrido, en donde un sistema de posicionamiento vehicular identifica la ubicación del auto dentro de uno de los cordones virtuales, y la distancia recorrida se mide por medio del odómetro del vehículo o con ayuda del satélite. La información correspondiente a las millas recorridas por auto, cordón y hora del día, se transfiere por medio de frecuencia de radio de 2.45 GHz cuando el vehículo acude a una gasolinera. Mientras se despacha la gasolina, el sistema de la gasolinera se comunica por medio de internet con una computadora central para calcular los costos sociales generados según las millas recorridas. El usuario internaliza conjuntamente su costo por consumo de gasolina y los costos sociales por uso de su vehículo.

El equipo a bordo del vehículo incluye una pantalla para informar al usuario sobre los costos sociales aplicables por milla, un receptor y una antena GPS, una unidad para contar las millas recorridas y una antena de frecuencia de radio de banda corta. En las gasolineras se instalaron equipos para leer la información contenida en el equipo de los vehículos. La principal ventaja de esta tecnología, es que se eliminan los costos de la

---

<sup>31</sup> El tipo de cambio del 23 de marzo de 2009, publicado por el BM fue de MXN\$14.20 por US\$1 Disponible en: <<http://www.banxico.org.mx>>





llamada telefónica para transmitir datos desde el vehículo a la computadora central. Se eliminan los problemas que presenta la tecnología GPS para calcular las millas recorridas, ya que éstas se calculan vía el odómetro del vehículo. El cálculo de las millas se hace por medio de la información satelital en caso de que la tecnología no sea compatible con el odómetro del vehículo.

#### Reclutamiento de voluntarios

En el experimento participación 299 voluntarios que pertenecían a 221 familias y contaban con 285 vehículos. El departamento de transporte de Oregón los recluto por medio de anuncios en el radio, periódicos y vía web.

Los voluntarios recibieron un apoyo económico de US\$300 (4,260 pesos) pagados al completar distintas etapas del experimento. Además se les otorgaron vales de gasolina con valor de US\$40 (568 pesos) por instalar el equipo en su vehículo durante las primeras dos semanas del periodo de entrenamiento. Los participantes que fueron asignados al escenario con costos sociales diferenciados por hora del día, recibieron un presupuesto mensual que podían transferir al gobierno por utilizar su automóvil o conservar el remanente si disminuían el uso de su vehículo.

#### Duración del experimento

El experimento inició en abril de 2006 y terminó en marzo de 2007, el proyecto comprendió seis años y consistió en el diseño del programa, el desarrollo de tecnología, el reclutamiento de voluntarios y el análisis de resultados.

#### Problemas durante el experimento

La tecnología utilizada reduce los riesgos de errores en el cálculo de las millas recorridas, al igual que los problemas de comunicación telefónica entre el vehículo y la computadora central. Otros problemas que se presentaron fueron: 1) la compañía que se contrató para fabricar la tecnología no cumplió con los términos del contrato y se contrató a otra empresa, 2) las unidades a bordo del vehículo consumían demasiada batería, 3) en 18 días de la fase de práctica no fue posible utilizar el equipo de las gasolineras para procesar transacciones de información y cobros, debido a problemas en las computadoras, pérdida de energía y deficiente conexión a internet, 4) los lectores de información del odómetro registraban la lectura con nivel de error de hasta +21% en los modelos Ford, 5) los lectores de información en las gasolineras no detectaban correctamente en qué bomba se ubicaba el vehículo con objeto de procesar el pago de las tarifas (este problema puede resolverse instalando antenas directamente en cada bomba en lugar de en un sólo punto dentro de la gasolinera), y 6) aproximadamente el 15% de las familias que instalaron el equipo en sus vehículos abandonaron el experimento durante su etapa de operación práctica por diversos motivos.

## Resultados

Aún cuando se presentaron diversos problemas, la mayoría de éstos se resolvieron fácilmente. Por otro lado, se concluye que la aplicación de costos sociales diferenciados por hora del día en la ciudad de Portland reducirían el número de millas recorridas hasta en un 22%.

## 10. Experimentos de distancia recorrida y duración del viaje

### 10.1. Dublín (lectura de odómetro)

La ciudad de Dublín, capital de Irlanda, tiene una población aproximada de 500 mil habitantes, que asciende a casi 1.7 millones al incluir su área metropolitana. Dublín ha experimentado el crecimiento económico más importante de Europa en los últimos 15 años, con tasas anuales de crecimiento superiores al 10%. Su economía se basa en actividades financieras y comerciales, aunque los sectores de la construcción, el farmacéutico y la industria cervecera también juegan un papel importante en el desarrollo económico.

Su red de transporte público es extensa, cuenta con más de 200 rutas de autobús urbano, dos líneas de tranvía y trenes suburbanos con acceso a las zonas residenciales con mayor número de habitantes. Sin embargo, el auge en la economía, junto con un crecimiento poblacional cercano al 2% anual, ha resultado en mayor congestión vial no sólo en el centro de la ciudad, sino también en la periferia, debido a que el 60% de la población vive en los suburbios. Un ejemplo es la carretera M50, una ruta periférica del suroeste al norte de Dublín y que es la más congestionada del país.

Ante esto, el gobierno de la ciudad inició estudios para estimar el impacto de introducir un programa de cuantificación y control del uso del vehículo particular que permita garantizar el ejercicio pleno del derecho al uso y acceso equitativo de la red vial como espacio público. Entre los parámetros a evaluar se consideró: 1) evaluar la respuesta del público, 2) estimar los cambios potenciales en la demanda de transporte público, 3) evaluar la efectividad de la tecnología disponible y 4) detectar los problemas que podrían presentarse en un proyecto real.

#### Tipo de experimento

Se evaluaron los costos marginales sociales que habían sido estimados en un modelo económico financiado por la Unión Europea,<sup>32</sup> de forma que el automovilista internalizara los costos de congestión, contaminación del aire y ruido que genera el uso de su automóvil. Los parámetros eran aplicables únicamente en horas pico y se

---

<sup>32</sup> Proost *et al.*, 1998.

calculaban en función de la distancia recorrida y el tiempo de viaje, similar a la forma en que funciona un taxímetro, que aplica un costo por tiempo de uso aunque el vehículo no esté en movimiento. Los parámetros por kilómetro y tiempo se calcularon de tal manera que el costo promedio de un viaje al trabajo fuera de €6.4 (123 pesos)<sup>33</sup>, como lo indicaba el estudio de Proost.

El problema de usar el mismo costo promedio para todos los automovilistas en la muestra es que los costos sociales por hora y tiempo serán más altos para quienes viven más cerca de su trabajo.

### Tecnología

Dado que el experimento contó con restricciones de tiempo y recursos, no se estudió la posibilidad de utilizar tecnologías GPS que requiere de un periodo largo para su diseño y calibración, y tampoco se invirtió en tecnología costosa para identificar las placas o detectar vehículos por microondas. En su lugar se desarrolló una pequeña computadora que se instaló en los vehículos participantes para cuantificar su uso (distancia recorrida y tiempo de duración de los viajes) e informar al usuario sobre el costo social de su viaje y presupuesto remanente. La unidad calcula el tiempo de duración del viaje con base en la velocidad y la distancia que marca el tacómetro, y fue calibrada en cada vehículo estimando el número de pulsaciones del odómetro por cada milla recorrida. La información sobre el uso del vehículo es guardada en la memoria de la computadora y descargada al final del experimento.

### Reclutamiento de voluntarios

El tamaño de la muestra fue relativamente pequeño, 23 participantes. Los voluntarios fueron reclutados en el Trinity College Dublín, por lo que la muestra no fue representativa de la población. Sin embargo, incluyó distintos tipos de participantes como secretarías, personal administrativo, ayudantes de laboratorio, ingenieros, profesores e investigadores.

### Duración del experimento

La fase práctica del experimento tuvo una duración de seis semanas. En la primera mitad se monitoreó el uso del vehículo con la intención de definir un escenario base y en la segunda mitad se aplicaron los incentivos económicos. La duración del experimento fue de seis meses desde la instalación del equipo en los vehículos hasta el análisis de los datos, sin embargo el proyecto se desarrolló en poco más de un año incluyendo el diseño de la tecnología y el reclutamiento de los voluntarios.

---

<sup>33</sup> El tipo de cambio del 23 de marzo de 2009, publicado por el BM fue de MXN\$19.20 por €1 Disponible en: <<http://www.banxico.org.mx>>

## Problemas durante el experimento

Ya que la tecnología no permite definir las zonas donde se aplica el programa, el usuario internaliza los costos sociales causados por utilizar su vehículo durante horas pico, sin importar que lo haga en el centro de la ciudad, en los suburbios, o incluso fuera de la ciudad. Por ello, el principal problema del experimento fue que los parámetros no están directamente asociados con el nivel de restricción del espacio público. Sin embargo no hubo problemas operativos durante su desarrollo. La única dificultad que se presentó fue reclutar voluntarios ya que la mayoría de las personas invitadas a participar argumentaron que no querían que se instalara ningún tipo de equipo electrónico en sus vehículos.

## Resultados

La muestra de este experimento fue pequeña y no representó las características de la población total, por lo que los resultados del proyecto no reflejan lo que ocurriría en un proyecto real. Sin embargo, considerando esta limitación, se estima que el uso de costos marginales sociales reduciría el tráfico en esta ciudad al menos en un 22%.

## 11. Conclusión

En distintas ciudades del mundo se han introducido programas de cuantificación y control de uso del vehículo particular para fomentar el ejercicio del derecho humano individual y colectivo de acceso a la red vial como espacio público y así reducir el congestionamiento vehicular, garantizar el derecho de movilidad urbana, incentivar el uso de otros modos de transporte, disminuir la contaminación del aire, y generar recursos adicionales para los gobiernos locales.

Cada programa ha tenido distintos impactos, por ejemplo, en cuanto al número de kilómetros recorridos. Algunas ciudades han desarrollado experimentos piloto, utilizando un grupo de voluntarios y asignándoles un presupuesto mensual, para conocer la magnitud del impacto de un programa real.

Después de describir los tipos de experimentos piloto de cuantificación y control de uso del automóvil desarrollados en diversas ciudades alrededor del mundo, conocer la tecnología utilizada, los problemas enfrentaron durante su operación, y los resultados obtenidos. La tercera parte de este estudio presenta una propuesta para realizar un experimento piloto en la Ciudad de México.



**Diagnóstico de los aspectos relacionados con el acceso al espacio público en el Distrito Federal por parte de los vehículos particulares, como base para el diseño de un sistema que permita medir el derecho humano al espacio público, a través del referente de movilidad urbana.**

**Tercera parte: Recomendaciones y plan de negocios para la realización de un programa de cuantificación y control del uso de la vialidad pública en el Distrito Federal.**



## 12. Introducción

En la primera sección de este documento se describen los tipos de mecanismos implementados alrededor del mundo como política para promover el derecho a la movilidad equitativa y satisfacer las necesidades urbanas colectivas logrando reducir el tráfico vehicular, la contaminación ambiental e incrementar los ingresos del gobierno. También se detallan los métodos para pronosticar los impactos de estos mecanismos, ya sea como modelos económicos de transporte o experimentos piloto.

En el año 2008 Crotte *et al*, desarrollaron un modelo económico para determinar el efecto potencial que tendría la introducción de un programa para cuantificar el uso del vehículo particular en base a los kilómetros recorridos en la ZMVM.

Los resultados indican que la aplicación de costos marginales sociales reduciría el tráfico en un 14% y generaría ingresos adicionales para el gobierno de alrededor de 50 mil millones de pesos al año; sin embargo, el modelo usa datos agregados y no predice el impacto del programa para los diferentes grupos de ingreso, además de que utiliza diversos parámetros y supuestos que deben considerarse, como son los valores de la elasticidad de la demanda de uso del vehículo particular y valores monetarios del tiempo.

Para conocer con mayor certeza el efecto de una política para desincentivar el uso del vehículo particular en la ZMVM y fomentar el goce del derecho de movilidad urbana, es necesario instrumentar un programa piloto como los descritos hasta ahora.

Con este antecedente, en la tercera parte de este documento se describe la propuesta y plan de negocios para realizar un experimento piloto de cuantificación y control de acceso a la vialidad pública en la Ciudad de México. Este tercer apartado se divide en cinco secciones, en la segunda sección se presenta una síntesis de las cualidades y defectos de los experimentos descritos en la segunda parte de este estudio, así como las lecciones y recomendaciones de quienes participaron en esos proyectos. En la tercera sección se describen las características de la propuesta para la Ciudad de México y en la cuarta sección se presenta un plan de negocios, en la última sección se concluye.

## 13. Lecciones y recomendaciones obtenidas de experimentos previos

El objetivo de esta sección es presentar un análisis crítico de las ventajas y desventajas de los experimentos piloto de cuantificación y control de uso del automóvil

particular que se describieron en la primera parte, para identificar los elementos que idealmente debería contener un proyecto piloto en la Ciudad de México.

La información para el análisis proviene de reportes producidos por los gobiernos locales que implementaron los experimentos, entrevistas a representantes de las empresas que diseñan tecnologías para detección del uso de vehículos, empresas de consultoría y universidades que participan en el diseño y ejecución de los experimentos.

Otro aporte informativo para la elaboración de la propuesta, son las memorias obtenidas del XV Congreso Mundial de Sistemas Inteligentes de Transporte, que tuvo lugar del 16 al 20 de noviembre de 2008 en el Centro de Convenciones Jacob K. Javits en la ciudad de Nueva York. En dicho evento se entrevistó a Trevor Platt de T-Systems Limited, empresa que maneja el actual programa de cuantificación y control de uso de camiones de carga en Alemania y que también provee la tecnología para un experimento en la ciudad de Londres; a Martina Zabic de la Universidad Técnica de Dinamarca, quien ha participado en el diseño de dos experimentos piloto en Copenhague; a Christoph Wondracek de Siemens, empresa que colaboró en diversos experimentos en Europa y recientemente en Estados Unidos; a Dragan Kostevski de Continental Corporation, empresa que diseña equipos para instalar a bordo de vehículos relacionados con este tipo de programas; y a Guido Peters de Efkon AG, empresa que provee tecnología para detección de infractores en el programa Alemán. Los datos de las personas entrevistadas para este estudio se incluyen en el anexo de este documento.

### **13.1. Diseño de los experimentos**

Esta parte describe algunas recomendaciones en cuanto al tipo de experimento, magnitud de los costos sociales y horario de operación.

#### **13.1.1. Tipo de experimento**

Los resultados de los experimentos de Copenhague y Gotemburgo, muestran que los programas de control de uso de la red vial reducen el tránsito vehicular con mayor éxito cuando los costos sociales se basan en kilómetros recorridos. Los proyectos de tipo cordón son efectivos en reducir el número de vehículos que circulan dentro de una zona específica, pero son menos efectivos en reducir los kilómetros recorridos dentro de la zona, ya que en la práctica la tarifa por kilómetro disminuye al aumentar la distancia recorrida dentro del cordón. Sin embargo, el tipo de programa elegido depende de las características específicas de cada ciudad y de la magnitud del problema de movilidad urbana.

Cuando el ejercicio del derecho de acceso al espacio público se ve menguado en una zona fácil de delimitar, por ejemplo en el centro histórico o en áreas de negocios o comerciales, la opción viable de controlar el uso excesivo del vehículo es mediante un

programa de tipo cordón, ya que el número de accesos a la zona es limitado y los costos de infraestructura para la identificación de vehículos disminuyen; sin embargo, a medida que la zona aumenta en tamaño, también aumenta el número de corredores de acceso y salida, lo que incrementa los costos de infraestructura y se excluye del programa a los vehículos que circulan dentro de la zona pero que no cruzan el cordón. Una solución es operar unidades móviles para identificar vehículos dentro de la zona, ya sea con tecnología de identificación automática de número de placa o con comunicaciones dedicadas de corto alcance.

Cuando un corredor específico presenta tránsito intenso, el diseño del programa debe considerar la desviación de vehículos hacia otras avenidas. En este caso las vías alternas también pueden incluir controles de acceso con costos sociales más bajos o introducir un cordón para evitar desviaciones de autos a zonas residenciales, lo que en ocasiones es más viable.

### **13.1.2. Magnitud de los parámetros de movilidad**

El monto de los costos sociales varía de acuerdo al tipo de programa, por ejemplo, los corredores de Edimburgo aplicaron un parámetro fijo de \$43 y en Leicester varía entre \$32 y \$215; en Génova varían entre \$19 y \$38 y en Estocolmo entre \$16 y \$32 con un monto máximo diario de \$103. Los parámetros aplicables por kilómetro recorrido oscilan desde \$0.06 en Oregón hasta \$12 en Gotemburgo. Los costos sociales también varían por hora del día, con valores más altos en las horas pico.

El objetivo de utilizar distintos costos sociales en los experimentos piloto, es medir la sensibilidad de la demanda ante variaciones en los precios para definir los rangos aplicables en un programa real.

Los resultados del experimento de Génova muestran la importancia de realizar programas piloto, ya que en el escenario con parámetros bajos (19 pesos por cruzar el cordón) los ingresos del gobierno son insuficientes para cubrir los costos de inversión y de operación del proyecto. Idealmente estos experimentos deben simular distintos escenarios con diferentes costos sociales, tanto fijos durante todo el día o variables según los horarios de máxima demanda.

La simulación de distintos escenarios con diferente magnitud de costos sociales también permite determinar el efecto del proyecto en usuarios con distintos niveles de ingreso y ubicar su lugar de domicilio, por ejemplo para definir en qué áreas es necesario aumentar la oferta de transporte público para evitar problemas de movilidad en los sectores de menores ingresos.

### 13.1.3. Horario de operación

En cuanto al horario de operación de los programas de cuantificación y control del uso del automóvil particular, el experimento de Gotemburgo sugiere que el efecto principal de introducir costos sociales únicamente en horas pico propicia un cambio en la hora de viaje de algunos automovilistas, pero la reducción de viajes innecesarios o cambio de modo de transporte es marginal. Es decir, si el objetivo es reducir el congestionamiento vial en horas pico y pasarlo a horas de menor demanda, la aplicación de costos sociales en esos horarios cumple el objetivo; sin embargo, si la finalidad es reducir el número de kilómetros recorridos, esta política es inadecuada y sería preferible aplicar costos sociales variables durante todo el día.

## 13.2. Operación de los experimentos

Las recomendaciones incluidas en este apartado están relacionadas con las técnicas de reclutamiento de voluntarios, la elección de la empresa que provee la tecnología, difusión de la información entre los voluntarios y definición del presupuesto disponible para cada participante.

### 13.2.1. Reclutamiento de voluntarios

Todos los experimentos utilizaron distintos métodos para reclutar voluntarios, como son: trípticos, llamadas telefónicas, encuestas, anuncios en la prensa y en páginas electrónicas del gobierno. También contrataron a empresas independientes para que hicieran el trabajo.

La recomendación es utilizar una muestra representativa de la sociedad en cuanto a su composición por grupos de ingreso, edad, género, actividad económica, número de miembros por familia, lugar de residencia, y distancia promedio de uso de su automóvil. Si la información no está disponible, como fue el caso de la ciudad de Leicester, se pueden emplear encuestas de origen-destino y de ingreso gasto de los hogares, con una selección previa de voluntarios para garantizar que la muestra sea representativa.

El número de voluntarios también varía entre los experimentos descritos. En general se asume que una muestra con menos de 100 participantes puede arrojar resultados sesgados, mientras que las muestras de 400 o 500 voluntarios incrementan significativamente los costos del proyecto. Un número manejable es alrededor de 200 ó 250 vehículos participantes. También es importante considerar que algunos voluntarios que originalmente muestran interés en participar, terminan no haciéndolo justo antes del inicio de operaciones del proyecto, por lo que se debe reclutar al menos 10% más del número deseado de personas.

### **13.2.2. Elección de la empresa que provee la tecnología**

Aunque las empresas que desarrollan tecnología para proyectos de tarificación urbana gozan de buena reputación, incluso a nivel internacional, algunos experimentos han presentado problemas importantes, por ejemplo en Gotemburgo con la pérdida de equipo que el distribuidor envió a la empresa que lo instaló en los vehículos, pero no se recibió en los talleres, y también en Estocolmo con problemas sobre la especificación del contrato. La recomendación es utilizar a empresas con experiencia en el área de aplicación de costos sociales en vialidades urbanas, y definir los términos del contrato con ayuda de expertos legales.

También es recomendable contratar un seguro en caso de que la tecnología tenga algún impacto negativo en el funcionamiento de los vehículos de voluntarios, ya que en algunos experimentos se presentaron casos en los que la batería del vehículo se agotó en cuestión de días por el uso del equipo.

### **13.2.3. Difusión de la información**

Los resultados de encuestas y grupos de discusión en los que participan algunos voluntarios, indican que los principales problemas de información a los voluntarios se presentan al comunicar los objetivos del experimento o cuando hay cambios en el diseño del mismo, como es el cambio de los costos sociales.

La recomendación es organizar sesiones de información para entregarles un paquete de información y ofrecer servicio telefónico para aclarar dudas. Es necesario proveer y ampliar información a los participantes antes de realizar cambios en la magnitud de los costos sociales, para que los resultados muestren el efecto real de introducir distintos parámetros, de lo contrario los resultados pueden sesgarse.

La experiencia en Gotemburgo muestra que la complejidad del experimento produce confusión en los participantes y terminan sin modificar su comportamiento ante la introducción de diversos escenarios de tarificación. La recomendación es introducir escenarios fáciles de entender, evitar incluir diversos cordones de distintos tamaños e instrumentar costos sociales variables no más de cinco veces al día, que sean fáciles de recordables, por ejemplo un mismo parámetro de 6:00 a 9:00 hrs y de 18:00 a 21:00 hrs.

### **13.2.4. Estimación del presupuesto para los voluntarios**

Algunos experimentos, por ejemplo el de Génova, otorgaron el mismo presupuesto a los voluntarios sin importar el nivel de uso de su automóvil; en el experimento de Gotemburgo se otorgó el presupuesto dependiendo del uso del vehículo durante la semana anterior al inicio del experimento. Esto generó que algunos voluntarios aumentaran indiscriminadamente el uso de su vehículo durante esa semana



para recibir un presupuesto mayor. La recomendación es estimar el presupuesto con base en el uso del automóvil al menos durante un mes para reflejar de forma fidedigna la demanda del vehículo particular y los efectos del programa.

### **13.3. Elección de tecnología**

Los principales factores que influyen en la decisión de la elección de tecnología son sus costos, su precisión y su capacidad para detectar a infractores. Los aspectos de estos factores se comentan a continuación.

#### **13.3.1. Precisión y costos de la tecnología**

En los proyectos de tipo corredor o cordón, las tecnologías de identificación automática de número de placa (ANPR) y de comunicaciones dedicadas de corto alcance (DSRC) son altamente confiables para detectar a los automovilistas que utilizan la red vial. No obstante, ambas tecnologías tienen ventajas y desventajas.

Las cámaras ópticas de identificación de placa tienen la ventaja de que sus costos de infraestructura son menores que los de DSRC, ya que no se requiere la instalación de un chip en cada vehículo. Su desventaja es que el nivel de precisión para identificar vehículos es menor que el de DSRC, debido a que en ocasiones las placas están sucias o las condiciones climáticas generan que se confundan algunos caracteres, por ejemplo la C con la G. Una solución al problema es verificar manualmente las placas cuando la foto tenga baja calidad, sin embargo esto aumenta los costos de operación. La elección de tecnología dependerá de los costos potenciales del proyecto, que varían según el número de usuarios.

En los programas basados en kilómetros recorridos en extensas zonas urbanas, las tecnologías disponibles, lectura de odómetro e identificación satelital de la posición del vehículo, al compararse con ANPR y DSRC tienen la ventaja de que no es necesario instalar algún tipo de equipo en las avenidas, como cámaras o lectores de chips; sin embargo, la tecnología para monitorear la distancia recorrida del vehículo es significativamente costosa. La ventaja de los equipos de lectura de odómetro es su exactitud, ya que son calibrados específicamente para cada vehículo dependiendo del tamaño de ring y del tipo de tacómetro. Su desventaja es que no es posible medir la distancia recorrida en distintas áreas, por ejemplo en las zonas con mayor tráfico cerca del centro de la ciudad, de hecho, el odómetro sigue funcionando incluso cuando el vehículo es utilizado en otras ciudades.

La precisión de las tecnologías satelitales ha avanzado en los últimos años, por ejemplo, durante el desarrollo de los experimentos de Bristol y Gotemburgo sólo era posible identificar la posición del vehículo cada 100 metros, en comparación con el experimento

de Copenhague en donde el monitoreo de la distancia disminuyó a 5 metros; sin embargo, la posición del vehículo y el cálculo de la distancia recorrida aún es baja, especialmente en zonas densamente construidas o durante trayectos dentro de túneles.

Una alternativa para resolver este tipo de problemas es usar tecnología satelital que se combina con otros sistemas que aumentan la precisión. Un ejemplo es la instalación de mapas de la ciudad y el desarrollo de algoritmos matemáticos para estimar la posición del vehículo cuando se pierde la señal.

En todo caso los expertos recomiendan reducir la demanda de precisión de la tecnología, es decir, evitar aplicar distintos costos sociales para cada avenida según su nivel de tráfico y sustituirlas por costos sociales por kilómetro y por zonas.

En el caso Ciudad de México, en lugar de instrumentar distintos costos sociales por kilómetro recorrido en avenidas como Ejército Nacional, Homero, Horacio o Presidente Masarik, es recomendable homologar el costo social en la zona de la colonia Polanco debido a que el nivel de tránsito vehicular es similar. De esta manera se puede definir un cordón virtual, en el que la tecnología satelital únicamente identifique al vehículo cuando cruce el cordón, sin necesidad de localizar su ubicación exacta en cada avenida del área delimitada.

La tecnología satelital, en combinación con los equipos de lectura de odómetro, permite aplicar costos sociales por distancia recorrida dentro de cordones con niveles similares de congestionamiento vial. Además los cordones virtuales pueden definirse de tal forma que se minimice la obstrucción de edificios o infraestructura entre los vehículos y el satélite.

### **13.3.2. Detección de infractores**

Un programa de cuantificación y control de uso de las vialidades públicas funciona adecuadamente cuando el número de infractores es bajo y cuando la detección de los mismos es alta. Es importante señalar que ningún tipo de tecnología es capaz de detectar al 100% de los infractores. Un ejemplo es el uso de ANPR, ya que es una tecnología confiable para detectar infractores; sin embargo, las cámaras no puedan identificar los dígitos de las placas cuando los automovilistas usan micas o colocan porta placas, incluso cuando las placas están sucias.

También existe el riesgo de que algunos conductores manejen cerca del vehículo que circula adelante, lo que evita que la imagen sea captada por la tecnología.

El uso de DSRC también presenta problemas porque los automovilistas pueden retirar el chip del vehículo o envolverlo en algún material que impida su detección. En estos casos es posible complementar tecnologías DSRC y ANPR para minimizar el número de

infractores, como en el caso de Estocolmo, pero aún así habrá usuarios que intentarán evadir el sistema.

Las tecnologías de posición vehicular y de lectura de odómetro también presentan problemas en la detección de infractores, ya que ambos equipos se pueden desconectar de la antena impidiendo la comunicación. Existen diversos procedimientos para detectar si el usuario desconecta el equipo o si intenta modificar el odómetro; sin embargo, así como con las tecnologías DSRC y ANPR, existen formas para evadir la cuantificación del uso del vehículo particular. En la actualidad, la mayoría de las empresas aseguran que sus equipos son 99% confiables y que tienen una alta capacidad para detectar infractores. De cualquier forma deben realizarse diversas pruebas para garantizar la efectividad de la tecnología.

La preocupación por probar un programa de este tipo en la Ciudad de México, radica en que todas las tecnologías descritas en este estudio asumen que el gobierno local tiene un control total sobre los registros de los automóviles que circulan en su demarcación, junto con los datos actualizados de su propietario y su domicilio.

Esta base de datos debe ser confiable y es fundamental para que las transacciones de los costos sociales se realicen por diversos medios, por ejemplo, por mensaje de texto o por internet; sin embargo, si el pago no es realizado durante el período establecido, el sistema debe enviar una multa a la dirección de registro del vehículo.

## **14. Propuesta para un programa piloto que garantice el derecho de movilidad urbana**

### **14.1. Objetivos**

El gobierno de la Ciudad de México realizó en el año de 2003 un estudio de aforo vehicular en 330 intersecciones de corredores estratégicos y representativos de la red vial de la ZMVM. Los resultados mostraron que en el 33% de las intersecciones se registran niveles aceptables de servicio, mientras que el 67% restante opera bajo condiciones inadecuadas para flujos vehiculares estables.

También se observó que las intersecciones conflictivas se ubican en el centro de la ciudad, en la periferia y en la zona metropolitana. Esto significa que el tráfico vehicular no se concentra en áreas específicas de la ciudad, sino que se extiende a gran parte de la región urbana. Esto sugiere que un programa de cuantificación y control de uso de la red vial en la ZMVM podría reducir significativamente el tránsito y la contaminación ambiental, aumentaría la productividad, atraería inversión extranjera e incrementaría los

ingresos del gobierno para invertir en transporte público. Al mismo tiempo garantizaría el derecho individual y colectivo de acceso al espacio público urbano.

Una propuesta de programa piloto para medir el acceso a la red vial de la ZMVM, tendría como objetivos:

1. Medir la reducción de los kilómetros recorridos en vehículos particulares
2. Estimar el incremento de la demanda de transporte público
3. Estimar el impacto de las tarifas en distintos grupos de ingreso
4. Definir parámetros óptimos de costos sociales a distintas horas del día y en diferentes zonas de la ciudad
5. Evaluar los aspectos legales, técnicos y operativos del proyecto
6. Medir la aceptación del público ante la introducción de un programa de cuantificación y control de uso del vehículo particular
7. Calcular los posibles costos e ingresos del gobierno local

## 14.2. Tipo de programa y tecnología

El programa propuesto se basa en la distancia que recorren los vehículos particulares, debido a que el tránsito es mayor en algunas avenidas es recomendable instrumentar distintos niveles de costos sociales para los corredores con mayor congestión.

Debido a que la sugerencia es instrumentar un programa sencillo de operar, que facilite la comprensión del público y que la tecnología satelital disponible presenta problemas para detectar con exactitud la ubicación de un automóvil, es recomendable zonificar a la ZMVM en tres áreas principales limitadas por el Circuito Interior y el Periférico. De esta manera se crearían tres zonas virtuales, la Zona I delimitada por el Circuito Interior, la Zona II tendría forma de “dona”, delimitada en su parte interna por el circuito y en su parte externa por el Periférico y la Zona III comprendería la zona exterior del Periférico y estaría limitada por los accesos carreteros a la zona metropolitana. (figura 4)

De acuerdo con el estudio de aforo vehicular señalado, el tránsito vehicular es más severo en la región centro y disminuye conforme aumenta la distancia hacia la periferia. En las tres zonas sugeridas se pueden utilizar distintos niveles de costos sociales por kilómetro recorrido, con parámetros más altos en la zona I y con parámetros diferenciados según la hora del día.

La tecnología para medir la distancia recorrida puede combinar la tecnología satelital, para identificar cuando un vehículo cruza los límites de cada zona y la lectura de odómetro para determinar los kilómetros recorridos.

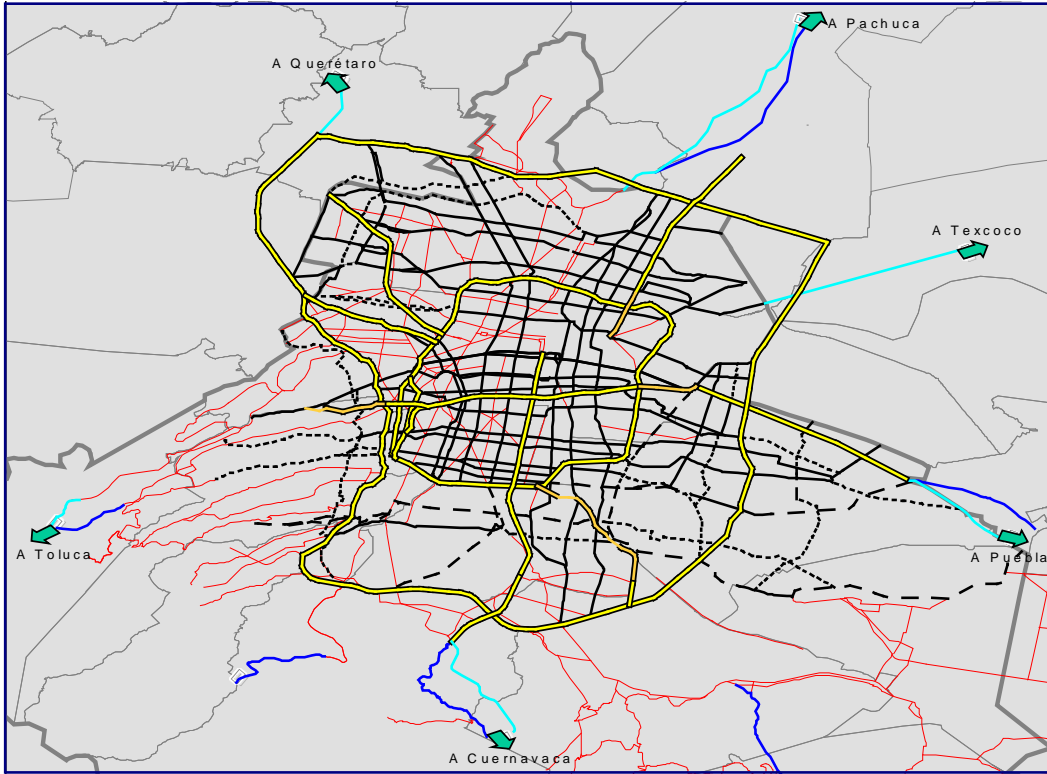


Figura 4. Red vial de la Ciudad de México

Fuente: Anuario estadístico 2004, Secretaría de Transportes y Vialidad del Distrito Federal.

### 14.3. Escenarios y costos sociales

Crotte *et al* estimaron costos marginales sociales para las tres zonas del sistema propuesto, considerando distintas horas del día e información económica del año 2008.

Según su estimación, los costos sociales promedio en la zona I serían de 2.59 pesos por kilómetro, mientras para las zonas II y III serían de 1.13 pesos y 1.00 peso, respectivamente, es decir 44% y 38% de la magnitud del parámetro de la zona 1. Se recomienda redondear estos parámetros a 2.50, 1.50 y 1.00 pesos, para mejorar su comprensión.

Los autores también estiman costos marginales sociales para 26 periodos de tiempo en días laborales y fines de semana; sin embargo, debido a que el programa debe ser fácil de entender y de recordar, se sugiere utilizar sólo dos conceptos, uno referido a horas



pico de 6:00 a 10:00 hrs y de 18:00 a 22:00 hrs, y otro periodo no pico entre las 10:00 y las 18:00 hrs, además de aplicar el programa únicamente de lunes a viernes.

Se sugiere que la magnitud de los costos sociales del periodo no pico equivalgan aproximadamente al 70% de los costos sociales de la hora pico. Los costos sociales sugeridos para un programa piloto de cuantificación y control de uso del automóvil particular en la Ciudad de México se resumen en la tabla 3.

Costos sociales por zona y hora del día	Hora pico	Hora no pico
	6:00 a 10:00 18:00 a 22:00	10:00 a 18:00
Zona 1 (dentro del Circuito Interior)	\$2.50	\$1.75
Zona 2 (entre el Circuito Interior y el Periférico)	\$1.50	\$1.00
Zona 3 (fuera del Periférico)	\$1.00	\$0.70

Tabla 3. Costos sociales recomendados para el programa piloto.

Una estimación de los costos sociales para un automovilista que circula al año 10 000 kilómetros en la zona I en horas pico y que no modifica el uso de su auto con la introducción del programa, sería de 25 000 anuales.

Si se asume que el rendimiento de combustible es en promedio 10 kilómetros por litro y que el precio de la gasolina es de 7.50 pesos, este automovilista gastaría en gasolina aproximadamente 7 500 pesos al año.

Este escenario indica que el monto de los costos sociales para garantizar el derecho de movilidad urbana equitativa, es 3.5 mayor que el costo del combustible. Esto es un indicativo de la conveniencia de simular escenarios con costos sociales menores. Una propuesta con tres escenarios, implica:

- a) Escenario 1. Estaría definido por los costos sociales que se indican en la tabla 3. Debido a que los automovilistas más afectados serán los que recorren distancias mayores, que por lo general viven en la periferia y pertenecen a los grupos de menores ingresos, es para evitar aplicar parámetros regresivos (es decir, el monto de la internalización de los costos sociales en proporción al ingreso es mayor para familias con menores ingresos)

- b) Escenario 2. En este escenario se usan costos sociales equivalentes al 50% de los parámetros de la tabla 3 y se eliminan los costos sociales en la Zona II. De esta manera no se penaliza a los individuos que viven en la periferia, donde los costos de vivienda son más bajos y donde se concentran las familias con menores ingresos.
- c) Escenario 3. En este escenario se ligan los costos sociales a las emisiones contaminantes de cada vehículo, los costos sociales serían mayores para los vehículos que producen más contaminación. En este escenario se puede empear el engomado de verificación vehicular, de esta forma los costos sociales serían mayores para los autos con holograma 2 y menores para los autos con holograma doble cero. También puede condicionarse el costo social con las emisiones de dióxido de carbono por kilómetro. El portal [www.ecovehiculos.gob.mx](http://www.ecovehiculos.gob.mx) publica los gramos de dióxido de carbono producidos por kilómetro recorrido por cada vehículo a la venta en México. También podrían considerarse en este escenario los costos sociales del escenario 1 como un 'promedio' y aumentar o disminuir proporcionalmente al aumentar o disminuir las emisiones de cada modelo de vehículo.

Es recomendable monitorear el uso de los vehículos de los voluntarios durante dos meses antes y después de la aplicación del esquema para medir el impacto del programa. En suma, se sugiere implementar cada escenario por un periodo de dos meses, es decir, la duración total del experimento práctico sería de diez meses, dos meses para definir el escenario base, seis para aplicar los 3 escenarios y dos para medir si el programa tiene algún impacto en los usuarios aún sin la aplicación de los costos sociales.

#### 14.4. Reclutamiento de voluntarios

El reclutamiento de 200 voluntarios (ver sección 13.2.1.) se puede hacer por distintas vías, anuncios en la prensa y en páginas electrónicas de las agencias del gobierno involucradas en el experimento, mediante la distribución de trípticos en distintas zonas comerciales. La muestra debe ser representativa (según datos del censo de población), así mismo deberá caracterizar a los distintos grupos de ingreso y tipo de vehículos que poseen.

Los voluntarios deberán participar en las sesiones informativas y los grupos de discusión para asegurar que los objetivos del programa son claros, deberá procurarse que participen durante el periodo total del experimento. Se sugiere que los voluntarios utilicen su vehículo particular de forma regular para transportarse a su lugar de trabajo o estudio, ya que se estima que aproximadamente 80% de los viajes durante las horas pico de la mañana son con este fin.



## 15. Plan de negocios

En esta sección se presentan los requisitos operativos del experimento, el cronograma de etapas requeridas y los costos.

### 15.1. Requisitos operativos

La operación del programa requiere de cuatro elementos principales: personal, oficinas, equipo de oficina y asistencia legal y contable.

- a) Personal. Se requiere un equipo de aproximadamente seis personas. Un director general o líder para la planeación, organización, dirección y control de los recursos. Dos directores de área para contactar con las empresas proveedoras de tecnología y la administración de los voluntarios. Dos asistentes técnicos para capacitar y asesorar a los voluntarios por teléfono o correo electrónico y colaborar en la organización general del proyecto. Una secretaria para la administración de actividades cotidianas y apoyo del equipo. Además se sugiere contratar personal para ofrecer un servicio de atención a voluntarios las 24 horas del día, incluyendo fines de semana. Los salarios recomendados serían:

Director general, 70 000 pesos mensuales

Directores de área, 45 000 pesos mensuales

Asistentes técnicos y secretaria: 15 000 pesos mensuales

- b) Oficinas. Es necesario rentar oficinas y espacios adecuados para realizar las sesiones informativas y entrenamiento de voluntarios. El monto de la renta del inmueble es de aproximadamente 30 000 pesos mensuales y la renta esporádica de salas es de 2 000 pesos por sesión.
- c) Equipo de oficina. Incluye mobiliario, equipo de cómputo y material de oficina como papelería y costos de servicios (luz, teléfonos, etcétera). Se estima un costo fijo de 100 000 pesos que incluye 6 computadoras, impresora, scanner, copiadora, teléfonos, escritorios y sillas. Los costos mensuales de mantenimiento y papelería se estiman en 5 000 pesos.
- d) Asistencia legal y contable. Se requiere asistencia legal para la contratación de los colaboradores, las empresas proveedoras de tecnología y los convenios con voluntarios. Asimismo, se requiere asesoría contable para pagos de impuestos y apoyo para la elaboración de una página de internet. Se estima que estos gastos asciendan a aproximadamente 500 000 pesos.

La operación del proyecto requiere tecnología adicional y análisis de datos, lo cual se especifica en la sección 15.3.

## 15.2. Etapas del proyecto

La duración de la etapa experimental del proyecto oscila entre ocho y diez meses, se estima que el proyecto tendría una duración total de dos años. Las etapas en que se divide el proyecto se enlistan en la tabla 4.

## 15.3. Estimación de costos

Los costos que se presentan en este documento son estimaciones preliminares, el propósito no fue evaluar con exactitud el costo total del proyecto dado que éste dependerá principalmente de las empresas que provean la tecnología y de las especificaciones técnicas del mismo.

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Especificación de las características del proyecto	■	■																						
Renta de oficinas y contratación de personal	■	■	■																					
Contacto con posibles proveedores de la tecnología		■	■	■	■	■																		
Demostración de la tecnología propuesta por distintas empresas							■	■																
Elección de la empresa proveedora de la tecnología								■	■															
Contacto con talleres para instalación del equipo en los vehículos							■	■	■															
Reclutamiento de voluntarios									■	■														
Capacitación de voluntarios									■	■	■													
Instalación del equipo en los vehículos										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Experimento práctico													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Análisis de los resultados																		■	■	■	■	■	■	■
Elaboración de documento final																							■	■

Tabla 4. Cronograma de actividades y duración del proyecto

En la elaboración de estos costos se solicitó a la empresa Siemens de Austria una propuesta informal de presupuesto tentativo para informar la magnitud de los posibles

costos. En el anexo se incluyen las comunicaciones por correo electrónico con personal de la empresa Siemens y los que se detallan los costos estimados para la tecnología sugerida.

Con el propósito de tener indicios de los recursos necesarios para desarrollar un experimento piloto de esta naturaleza es que se presentan los costos de la tabla 5.

Concepto	Costo estimado
Salario Director General (\$70,000 mensual X 24 meses)	\$1,680,000
Salario 2 Directores de Área (\$45,000 mensual X 24 meses X 2)	\$2,160,000
Salario 3 Asistentes Técnicos (\$15,000 mensual X 24 meses X 3)	\$1,080,000
Salario 3 Asistentes Técnicos fase experimental (\$15,000 mensual X 10 meses X 3)	\$450,000
Renta de oficinas (\$30,000 mensual X 24 meses)	\$720,000
Renta de salas para capacitación de voluntarios (\$2,000 X 6 sesiones X 8 grupos de 25 participantes)	\$96,000
Equipo mobiliario y de cómputo	\$100,000
Costos operativos de oficina (\$5,000 mensual X 24 meses)	\$120,000
Servicios legales, contables y técnicos	\$500,000
Tecnología GPS incluyendo unidades a bordo de 200 vehículos (€700,000, €1=\$19.2)	\$13,440,000
Instalación del equipo en los automóviles (\$500 X 200)	\$100,000
Presupuesto para voluntarios (\$2,000 mensuales + apoyo de \$4,000 = \$10,000 X 200)	\$2,000,000
Comunicación de datos entre el vehículo y la computadora (€20 X 10 meses X 200 = €40,000, €1=\$19.2)	\$770,000
Gastos de consultoría para análisis de resultados (€450,000, €1=\$19.2)	\$8,640,000
Fondo para eventualidades (10% del costo total)	\$3,186,000
<b>Total de costos estimados</b>	<b>\$35,042,000</b>

Tabla 5. Estimación preliminar de los costos del proyecto.

El costo estimado del proyecto de 35 042 millones de pesos, es similar a la mayoría de los experimentos realizados en otras ciudades. En algunos casos los costos ascienden a





más del doble, como es el caso de Leicester donde el costo fue de más de 75 mil millones de pesos, aunque también pueden ser costos menores, como es el caso de Estocolmo, donde derogaron 5 500 millones de pesos, esto porque todos los vehículos de los residentes participaron en el experimento.

En caso de aprobarse la realización del experimento que se propone, se invitaría a las empresas que proveen este tipo de tecnologías y que tienen experiencia en programas de este tipo alrededor del mundo, como son:

- Micro Design ASA de Noruega (participó en el experimento de Leicester con tecnología tipo DCRS).
- T-Systems Ltd, Trafficmaster Plc, Sanef Tolling Limited, Intelligent Mechatronic Systems UK, Kapsch TrafficCom Limited, Q-Free ASA, y Serco Ltd. (actualmente desarrollan experimentos con tecnología GPS en Inglaterra).
- M-Tec A/S (colaboró en el experimento de Copenhague con tecnología GPS).
- Computer Recognition Systems (provee la tecnología para el programa de tipo cordón de Londres con tecnología ANPR).
- MVI Systems Ltd, y PIPS Technology (participaron en el experimento de Edimburgo con tecnología ANPR).
- BUSI Impianti S.p.A. (colaboró en el experimento de Génova con tecnología ANPR).
- Invexor AB, y Maingate AB (ambas empresas suplieron la tecnología GPS para el experimento de Gotemburgo).

## Conclusiones

Con la finalidad de aportar parámetros técnicos al estudio y garantía del derecho individual y colectivo que tienen los habitantes del Distrito Federal de acceder al espacio público como bien colectivo, en este documento se analiza la experiencia de otros países con referencia al uso de medidas cuantificables o parámetros de movilidad urbana.

También se proponen las bases para el diseño, prueba e implementación de un estudio piloto, que genere un mecanismo de carácter precautorio que salvaguarde el derecho de acceso al espacio público y de movilidad urbana en apego a los derechos ambientales y territoriales de los habitantes del DF.

Detalla además una propuesta para realizar un programa piloto de cuantificación y control de uso del vehículo particular en la Ciudad de México que facilite conocer su impacto potencial en reducir el congestionamiento vial y la contaminación del aire y que sirva para estimar los posibles ingresos para el gobierno y la efectividad de la tecnología utilizada, además de tener como objetivo primordial la garantía del derecho humano de movilidad urbana.

La propuesta incluye la creación de tres zonas virtuales delimitadas por algunas avenidas prioritarias de la ciudad, el Circuito Interior y el Periférico.

En estas tres zonas se aplican distintos costos sociales para cada una y en distintas horas del día. Se sugiere simular tres escenarios, el primero con costos sociales para las tres zonas, donde el parámetro más alto es de 2.50 pesos por kilómetro.

El segundo, reduce la magnitud de los costos sociales al 50% y elimina los costos en la zona fuera del Periférico para evitar el elemento regresivo de un programa.

Finalmente el tercero sugiere asociar los costos sociales con las emisiones contaminantes de cada vehículo.

Dado que el problema de tránsito vehicular en la ZMVM no se concentra en un área específica, se propone monitorear el uso del vehículo particular en toda el área metropolitana por medio de tecnología de identificación satelital y registro de los kilómetros recorridos por medio de lectores de odómetro.

El costo total del programa piloto se estima en alrededor de 35 042 millones de pesos y tendría una duración de dos años incluyendo su diseño, reclutamiento de 200 voluntarios, experimento práctico y análisis de resultados.



El costo exacto del proyecto podrá estimarse una vez que se invite a distintas empresas a participar en un proceso de licitación.

Aún cuando el tema de la cuantificación y control de uso del vehículo particular no está en la mesa de discusión para un futuro cercano en la Ciudad de México, la realización del experimento sugerido en este estudio brindaría información valiosa en caso de que se contemple introducir en el futuro una política de este tipo para resolver el congestionamiento vial y las emisiones contaminantes por fuentes móviles.



## Referencias

- Armelius, H., and L. Hultkrantz (2006) The politico-economic link between public transport and road pricing: an ex-ante study of the Stockholm road-pricing trial. *Transport Policy*, 13 (2), 162-172.
- Bonsall, P., and C. Kelly (2005) Road user charging and social exclusion: The impact of congestion charges on at-risk groups. *Special Issue of Transport Policy* 2005.
- Crôtte, A., R.B. Noland, and D.J. Graham (2008) An application of distance-based road user charges in the Mexico City Metropolitan Area, paper presented at the 55th North American Regional Science Council Conference, New York.
- Davis, B. (1999) Key issues involved in implementing road pricing schemes in cities. *Electronic tolling and congestion charging seminar*. Bristol City Council
- de Palma, A. and R. Lindsey (2006) Modelling and evaluation of road pricing in Paris. *Transport Policy* 13 (2), 115-126.
- de Palma, A., R. Lindsey, and S. Proost (2006) Research challenges in modelling urban road pricing: An overview. *Transport Policy*, 13, 97-105.
- De Corla-Souza, P. (2004) Recent US experience: pilot projects. In: Santos, G. (ed.), *Road pricing: Theory and evidence*. *Research in Transportation Economics* 9. Elsevier, Amsterdam, pp. 283-308.
- Goodwin, P.B. and R.B. Noland, (2003) Building new roads really does create extra traffic: a response to Prakash et al. *Applied Economics*, 35, 1451-1457
- Graham, D.J. and S. Glaister (2006) Spatial implications of transport pricing. *Journal of Transport Economics and Policy*, 40(2), 173-201.
- Kim, K.S., and K. Hwang (2005) An application of road pricing schemes to urban expressways in Seoul, *Cities*, 22 (1), 43-53.
- Larsen, O.I., and K. Ostmo (2001) The experience of urban toll cordons in Norway, *Journal of Transport Economics and Policy*, 35, 457-471.
- May, A.D., and D.S. Milne (2000) Effects of alternative road pricing systems on network performance. *Transportation Research Part A*, 34, 407-436.



- O'Mahony, M., D. Geraghty, y I. Humphreys (2000) Distance and time based road pricing trial in Dublin. *Transportation*, 27, 269-83.
- PROGRESS Project (2004) Pricing road use for greater responsibility, efficiency and sustainability in cities: Social, economic and political issues. Unión Europea.
- PROGRESS Project (2003) Pricing road use for greater responsibility, efficiency and sustainability in cities: Final demonstration implementation plan. Unión Europea.
- PROGRESS Project (2002) Pricing road use for greater responsibility, efficiency and sustainability in cities: Scheme design and development. Unión Europea.
- Proost, S., and A. Sen (2006) Urban transport pricing reform with two levels of government: a case study of Brussels, *Transport Policy*, 13 (2), 127-139.
- Proost, S., K. Van Dender, B. De Borger, C. Courcelle, M. O'Mahony, E. Gibbons, Q. Heaney, R. Vickermann, J. Peirson, E. Verhoef, y J. Bergh (1998) TRENEN II STRAIN Reporte Final CEC DGVII, Bruselas, Bélgica.
- Santos, G., W.W. Li, and W.T.H. Koh (2004). Transport policies in Singapore. In: Santos, G. (ed.), *Road pricing: Theory and evidence. Research in Transportation Economics*, 9. Elsevier, Amsterdam, pp. 107-131.
- Secretaría de Transportes y Vialidad (2003). Sistema de información de condiciones de tránsito para la estimación de emisiones contaminantes por fuentes móviles en la ZMVM. Informe final. ETEISA. México, D.F.
- Secretaría de Transportes y Vialidad (2004). Anuario estadístico. México, Distrito Federal.
- Smith, J.C. y R.S. Burton (1998) Initial findings from the Leicester environmental road tolling scheme. *Road Transport Information and Control*, 21-23.
- Vold, A. (2006) Phased implementation of transport pricing for Greater Oslo. *Transport Policy*, 13(2), 140-148.
- Whitty, J.M. (2007) Oregon's mileage fee concept and road user fee pilot program. Final report. Oregon Department of Transportation.
- Wright, D. (1999) Leicester environmental road tolling scheme. The Institution of Electrical Engineers.





## Anexo

Datos de las personas entrevistadas sobre su experiencia participando en experimentos de tarificación vial alrededor del mundo.

Trevor Platt

Cargo: Director de Tarificación Vial  
Empresa: T-Systems Limited  
Dirección: Clare House, Langley Business Centre  
Station Road, Langley, Slough, SL3 8DS, Reino Unido  
Teléfono: +44 (0)1753 612100  
Correo: [trevor.platt@t-systems.com](mailto:trevor.platt@t-systems.com)

Martina Zabic

Cargo: Investigadora  
Empresa: Departamento de Transporte, Universidad Técnica de Dinamarca  
Dirección: Bygningstorvet 115, Edificio 115, oficina 004.  
1800 Kgs. Lyngby, Dinamarca  
Teléfono: +45 4525 1496  
Correo: [mz@transport.dtu.dk](mailto:mz@transport.dtu.dk)

Christoph Wondracek

Cargo: Director de tarificación vial electrónica  
Empresa: Siemens  
Dirección: Erdberger Lände 26, A-1030, Viena  
Teléfono: +43 (0) 51707 35658  
Correo: [christoph.wondracek@siemens.com](mailto:christoph.wondracek@siemens.com)

Dragan Kostevski

Cargo: Gerente de productos electrónicos automotrices  
Empresa: Continental Corporation  
Dirección: 320 120th Ave NE, Suite B-203, Bellevue, WA 98005, Estados Unidos  
Teléfono: +1(425) 460 0509  
Correo: [dragan.kostevski@continental-corporation.com](mailto:dragan.kostevski@continental-corporation.com)

Guido Peters

Cargo: Director de tarificación vial electrónica  
Empresa: Efkon AG  
Dirección: Andritzer Reichsstrasse 66, 8045 Graz, Austria  
Teléfono: +43 (0) 316 6956 750  
Correo: [g.peters@efkon.com](mailto:g.peters@efkon.com)



Comunicación por correo electrónico con Chistoph Wondracek de la empresa Siemens para la estimación de los costos de la tecnología GPS para el experimento en la Ciudad de México.

**From:** Wondracek, Christoph [mailto:christoph.wondracek@siemens.com]  
**Sent:** Fri 28/11/2008 17:33  
**To:** Crotte Alvarado, Amado  
**Subject:** AW: Preparation for the possible trial in Mexico City

Hello Amado,

Slorry for the late reply but I was travelling like cracy during the last few days as we are starting with a big project in the near future.

I made some cost estimates for you with your data provided but I recommend that we talk about that more in detail.

- Concerning the GPS trial as such with 200 OBUs for one year with servers, hosting and back up for one year I think that it will be possible with about € 700.000.
- The data analyzes and the reports (if we can use Siemens stuff and not an external consulting agency) another €450.000. External consulting agencies (experience from UK charged for the analyzes more than dubble!)
- For the reward system you can estimate (Seattle experience and US prices and expectations from the participants) between €400 up to €1500 per participant depending on the behaviour change they made.
- What I also do not know are the communication costs between the OBUs and the central system. Here in Austria we have special prices for GPRS only data communication, which is quite affordable. The prices in Austria for GPRS SIM cards are per month approx. €20 per SIM x 12 months x 200 participants: € 48.000 but that's for Austria. I could ask friends of mine in Mexico about the prices there.

I tried to reach our sales responsible in the US but due to Thanksgiving Holidays there was no one available who can help me with the preparation of an offer as I'm not allowed to prepare one without the permission of the regional representatives.

If you have further questions please just contact me.

Wish you a great weekend and not too much snow in London.

Regards,  
Christoph

---

**Von:** Crotte Alvarado, Amado [mailto:amado.crotte03@imperial.ac.uk]  
**Gesendet:** Dienstag, 25. November 2008 13:31  
**An:** Wondracek, Christoph  
**Betreff:** RE: Preparation for the possible trial in Mexico City

Hi Christoph,



The details of the trial are yet to be decided, but for the purposes of the preliminary estimation of costs lets assume the following:

Duration of the road pricing scenarios excluding recruitment of volunteers, instalation of the on-board units, etc:

10 months (2 months to monitor the use of the vehicle without road user charges, 6 months to test 3 different scenarios with different level of charges, and 2 months to monitor the use of the vehicle after the application of the charges).

Elaboration of the analysis:

Ideally I will do it, or between me and staff from the Mexico City Ministry of Transport, the Environmental Protection Agency and other universities. However, it would be great if you provided us with two different estimations of costs (including and excluding the analysis of the data).

With regards to data backup, your suggestion sounds reasonably good for the time being.

Let me know if you need any more information.

Regards,

Amado

---

**From:** Wondracek, Christoph [mailto:christoph.wondracek@siemens.com]

**Sent:** Tue 25/11/2008 12:16

**To:** amado.crotte@imperial.ac.uk

**Subject:** Preparation for the possible trial in Mexico City

Good afternoon Amado,

just a few minutes ago I sent you the results from Seattle wish you lots of fun with the results.

Concerning the offer for Mexico City I would need following additional information:

How long is the duration?

Who is carrying out the analyzes?

Data backup: would be incremental for 6 days and once a week a full back up of the data be o.k. for you?

Hope that's all if I (my commercial collgeagues) need more, I'll drop a note.

Regards,  
Christoph