

Tarifación de carreteras y gestión de la movilidad metropolitana

Road pricing and metropolitan mobility management

Revista de Obras Públicas
nº 3.506. Año 157
Enero 2010
ISSN: 0034-8619

Miller Salas Rondón. Dr. Ingeniero Civil.

Área de Transportes. Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga-Colombia. miller.salas@upbbga.edu.co

Francesc Robusté Antón. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Catedrático de Transporte de la Universidad Politécnica de Cataluña y Director del CENIT (Centro de Innovación del Transporte de la UPC). f.robuste@upc.edu

Sergi Saurí Marchán. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y Ldo. en Economía

Profesor de Transporte de la Universidad Politécnica de Cataluña. Investigador del CENIT (Centro de Innovación del Transporte de la UPC). sergi.sauri@upc.edu

Juan Argote Cabañero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Investigador del CENIT (Centro de Innovación del Transporte de la UPC) y de la Universidad de California en Berkeley. juan.argote@gamil.com

Resumen: La implantación de tarifas para gestionar la movilidad urbana está siendo empleada por diversos gobiernos para paliar los costes externos sociales. Durante los últimos años se han desarrollado una serie de estrategias que pueden agruparse en las actuaciones conocidas como *Value Pricing*. Estas medidas proporcionan a los usuarios del vehículo los incentivos apropiados para conseguir niveles de tráfico óptimos socialmente, logrando un uso eficiente de las carreteras y suavizando los efectos de la congestión. Además, se captan recursos para la financiación o mejora de las infraestructuras y se promueve la implantación de otras medidas para disminuir los efectos del tráfico. Este artículo pretende analizar las distintas opciones que existen actualmente para la gestión de la movilidad metropolitana a través de tarifas y su aplicación real en España.

Palabras Clave: Movilidad Urbana; Value Pricing; Peaje de Congestión; Tarifación de Carreteras

Abstract: Many governments are currently to mitigating the social costs related to transportation managing mobility with pricing schemes. A wide range of Value Pricing strategies have been developed. These schemes provide incentives to the vehicle's users to change their travel behavior in order to achieve socially optimal traffic levels and an efficient use of the road network while congestion effects are also smoothed. In addition, these policies raise funds to finance and improve the infrastructures maintenance and they promote the introduction of other measures which also reduce the traffic effects. This paper aims to identify the different possibilities within Value Pricing and its actual implementation in Spain.

Keywords: Urban Mobility; Value Pricing; Congestion Charging; Road Pricing

1. Introducción

Las limitaciones de la capacidad viaria dificultan la satisfacción de la demanda de uso de las carreteras durante las horas punta en el ámbito urbano. Esto hace que diariamente se generen demoras en el movimiento de pasajeros y mercancías, lo cual conlleva unas grandes pérdidas económicas para la sociedad. De acuerdo con el Proyecto UNITE (Nash et al., 2003), se estima que en Europa los costes asociados a la congestión en las carreteras ascienden a 70.000 millones de euros, aproximadamente, 1% del total del PIB. El Instituto del Transporte de Texas calculó que, en el 2003, la congestión en el 85% de las zonas urbanas de Estados Unidos causó 3.700 millones de horas de retraso en los viajes y

2.300 millones de litros de combustible desperdiciado. Generando un coste total de 63.000 millones de dólares (DeCourla-Souza, 2006).

Una de las posibilidades para mitigar estos costes de congestión consiste en la implantación de tarifas que afecten al uso de la carretera (el óptimo es un "mix" entre tarifación y restricciones para el uso de la infraestructura). El uso de estas tarifas permite dotar a los usuarios de la carretera de unos incentivos necesarios para poder valorar la totalidad de los efectos que causan y conseguir, de esta manera, un uso eficiente de las infraestructuras. Asimismo, los recursos captados a través de estas medidas pueden ser reinvertidos posteriormente propiciando una mejora del servicio de transporte por carretera (privado o público).

Este resultado que en economía del transporte se llama el coste social de congestión o pérdida social de eficiencia está dado por el área sombreada *BGH*. Luego, la tarifa óptima que debe aplicarse para conseguir el flujo óptimo q^* y así internalizar los costes de congestión está dada por el segmento *BF*, esto es:

$$BF = A - E = \tau^* = CMa(q^*) - CMe(q^*) = q^* \frac{\partial CMe(q^*)}{\partial q}$$

Donde $q^* \frac{\partial CMe(q^*)}{\partial q}$

es el coste marginal de congestión que imponen los viajeros a otros.

Esto se conoce como el beneficio social total maximizado o primer-mejor óptimo (*first-best*), correspondiente al flujo óptimo. La tarifa *BF* equipara el beneficio social marginal y el coste social marginal *CMa*, en el nivel eficiente de tráfico q^* . La tarificación por congestión

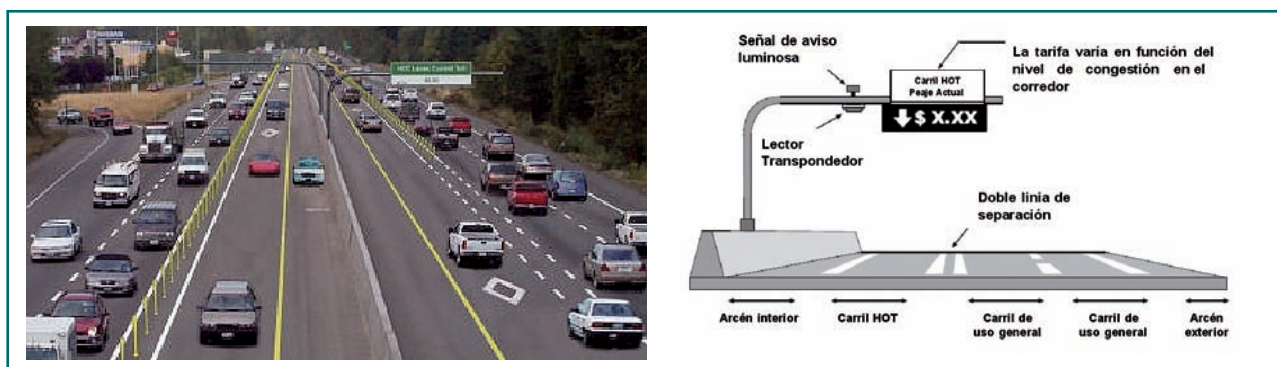
(bajo el supuesto de un valor uniforme del tiempo) genera una ganancia de bienestar de *BGH*. El flujo de tráfico se reduce desde q^0 a q^* , como resultado de que algunos usuarios de la carretera dejen de usarla (bien sea porque cambien de modo o renuncien al viaje) y de esta forma se libera el excedente *BDG* de los consumidores (vehículos-viajeros).

Dada la dificultad de implementar la tarificación *first-best*, debido a barreras técnicas, legales, institucionales y de aceptación tanto pública como política, aparecen las alternativas *second-best*. Bajo el enfoque *second-best* que se define como un óptimo con restricciones de implantación, se incluyen los sistemas de tarificación donde el valor del peaje difiere del coste marginal externo. Es decir, bajo el enfoque *second-best* no se consideran exactamente los costes que un nuevo usuario impone sobre el resto de vehículos del sistema (coste marginal social) sino que se aplica una tarifa óptima reconociendo las restricciones técnicas o políticas que puedan afectar al sistema (Bertrand, 1977).

Tabla 1. Medidas de Value Pricing para gestionar la movilidad				
Factores relevantes de la movilidad en vehículo privado		Estrategias		
		Imponer mayores costes	Imponer restricciones	Otorgar privilegios
Quién	Tipo de vehículo	Tarifa variable según el tipo de vehículo	Restricción por matrícula	Subvención a la compra de vehículos ecológicos
	Número de ocupantes	Pejajes reducidos para VAO: carriles HOT	Restringir acceso a la red por mínimo de ocupantes	Carriles de alta ocupación
Dónde	Ruta (red)	Tarifa cordón	Restringir el acceso al CBD* a un número máximo de vehículos	
	Destino (parking)	Aparcamiento regulado (Zona azul) y tarifado de alta rotación	Aparcamiento regulado (Zona verde) y tarifado con descuentos a residentes	Parking Cash Out
Cuándo	Hora	Tarifa variable HP/HV	Limitar acceso al CBD en HP	-
	Día	Tarifa variable día laborable/festivo	Restricción tipo "pico y placa" en Colombia (las matrículas terminadas en dos dígitos específicos no pueden usarse durante la hora punta de un día laboral)	-
	Época	Tarifa variable en período vacacional		-
Cuanto	Km recorridos	Seguro PAYD, tarifa continua según km	Asignación de créditos de movilidad	-
	Consumo y emisiones	Tarifación por externalidades	Limitar la circulación de veh. según nivel de emisión	-
	Velocidad	Carriles rápidos (Fair Lanes)	Carriles de velocidad variable	-

* Central Business District

Fig. 2. Sección típica e información en tiempo real del coste del peaje de los carriles VAO. (Fuente: WSDOT, 2003).



3. Definición de Value Pricing

Value pricing o *congestion pricing* indica que cada viajero debería pagar un peaje que refleje el coste social marginal en el corto plazo por el uso de la carretera. Dicho valor se modificará de acuerdo al nivel predominante de congestión. Los peajes, al variar según el nivel de congestión, proveen incentivos adecuados sobre las decisiones de viaje, que incluyen factores como la elección de la ruta, el tiempo de viaje o el modo de transporte. Asimismo, dado el avance tecnológico para el cobro de los peajes (p.e. *Electronic Toll Collection*), es posible hacer una recaudación de forma transparente y eficiente de este pago y eliminar así las demoras asociadas con la recaudación manual.

Se han propuesto diferentes estrategias de tarificación y restricción (p.e. prohibir el uso del vehículo en ciertos días de la semana según el número final de la matrícula) para gestionar la congestión en carreteras. El uso de la tarificación se puede aplicar sobre una infraestructura específica (puente, túnel), o sobre toda una red de carreteras. La tabla 1 muestra diversas medidas de tarificación que involucran los elementos que conforman parte de la ejecución de un viaje (vía, vehículo y estacionamiento). El objetivo es modificar el comportamiento de los usuarios de vehículos para lograr un uso eficiente de la actual capacidad viaria y optimizar las zonas de estacionamiento. A continuación se describen las características de estas medidas de *Value Pricing*.

4. Tarificación por uso de las carreteras

Las alternativas tarifarias pueden aplicarse a una infraestructura específica o sobre una red de carreteras. Los sistemas de tarificación en una red abarcarían aspectos como las entradas y salidas de los accesos, los límites

del área de influencia del esquema, la localización de los puntos de recaudación y su distribución en la red, la topología viaria real, el diseño de esquemas tarifarios y los posteriores desarrollos de la red.

4.1. Infraestructura específica

A continuación se revisan los diversos esquemas de tarificación que son aplicables en una infraestructura específica, p.e. sobre un tramo concreto de una carretera, o bien sobre un puente o un túnel.

Carriles con vehículos de alta ocupación (VAO) con peaje (HOT)

Como estrategia para administrar la congestión en una autopista se reservan algunos carriles para vehículos con alta ocupación (superior a 2 ó 3 personas, según la situación de partida), quienes pueden circular por dichos carriles de forma gratuita o pagando una tarifa rebajada (este caso se denomina "*High Occupancy Tolloled lane*" o *HOT*"). Para aplicar esta medida, dichos vehículos deben disponer de un OBU "*On Board Unit*" (en España actualmente, el sistema Vía T) para permitir el pago automático.

Los carriles VAO con peaje (HOT) utilizan sofisticados sistemas de recaudación electrónica del peaje y de información del tráfico que permiten variar la tarifa en tiempo real. Se informa a los viajeros sobre las tarifas y las condiciones del viaje a través de señales con mensajes variables que, localizadas cerca de los puntos de entrada, facilitan a los posibles viajeros la decisión de utilizar o no los carriles HOT. La alternativa para los usuarios consiste en circular por carriles adyacentes, libres de pago, que pueden estar congestionados durante las horas punta. La figura 2 muestra una sección típica de los carriles HOT.

El acceso a los carriles HOT puede darse en puntos intermedios, pero en muchos casos sólo existen puntos de entrada y salida únicos. Este número limitado de puntos de acceso, así como las barreras de separación entre carriles (físicas o por líneas de señalización vial o con balizamiento) son las herramientas claves para administrar el flujo de tráfico en este tipo de carriles.

Peajes variables

Se paga una tarifa variable en función de la hora del día con la intención de incentivar a los viajeros a que utilicen la carretera (puente o túnel) en las horas de menor congestión, o que usen otros modos u otras rutas. El objetivo es limitar el tráfico durante las horas punta con la intención de conseguir una reducción de las demoras durante dichos periodos.

Recientes investigaciones realizadas sobre los carriles exprés de la SR-91 en USA indicaban que sus usuarios regulares (*commuters*) asignaban demasiadas horas al viaje entre sus hogares y el trabajo. Muchos de los clientes escogen el peaje solamente en los periodos de mayor demanda y emplean los carriles libres en los demás días o periodos. Dichos usuarios enfatizan que ellos valoran un viaje rápido, seguro y confiable y que la estrategia del peaje está diseñada para brindar esta valoración. Los cambios en las tarifas de los peajes son notificados a los usuarios en tiempo real mediante señales con mensajes variables sobre la carretera.

Carriles rápidos y normales entrecruzados (FAIR lanes)

Los carriles FAIR “Fast And Intertwined Regular” suponen un concepto innovador de *Value Pricing*. Su objetivo es tarifar una autopista de forma dinámica, permitiendo que algunos carriles de la autopista se conviertan (utilizando tiras y pilones de plástico) en carriles de alta velocidad mediante el pago de un peaje mientras abandonan los carriles libres de pago.

El peaje se paga de forma automática en los carriles rápidos y se fija en tiempo real para limitar el tráfico de forma que se pueda circular a velocidad de buen nivel de servicio. Los conductores son advertidos a la entrada de los carriles rápidos del cambio en la tarifa del peaje a través de mensajes electrónicos que se ubican en los bordes de la vía. Tan pronto el volumen de tráfico en los carriles rápidos se acerca al máximo que puede ser acomodado a velocidades cercanas a las de flujo libre,



Fig. 3. Carriles FAIR sobre la SR-91 en California. (Fuente: Flores y Egan, 2005).

los peajes se incrementan para disuadir la entrada adicional de vehículos a los carriles rápidos.

Estas medidas aseguran que los carriles FAIR ofrezcan un viaje más rápido y fiable que en los carriles regulares. Los conductores que viajan en los carriles libres de pago pueden recibir abonos que son pagados a través de los ingresos percibidos por los carriles con peaje. Estos abonos pueden utilizarse para viajar posteriormente en los carriles rápidos (siempre y cuando posean el OBU para descontar de forma automática el valor del peaje) o para otros propósitos (parking, tráfico, etc.).

Los carriles FAIR pueden constar de más de un carril por sentido, de modo que se permite que vehículos rápidos adelanten a los que van más lentos, evitando la formación de colas. La figura 3 muestra la formación de los *FAIR lanes* en la autopista SR-91 en California, en funcionamiento desde el año 1995.

Racionamiento del espacio viario

A través de un sistema de créditos de recaudación neutros es posible racionar los viajes durante las horas punta. Kockelman y Kalmanje (2005), propusieron una política de tarificación basada en créditos por congestión (*Credit Base Congestion Pricing* - CBCP), donde los conductores reciben mensualmente una asignación de créditos monetarios de viaje “bolsa de crédito”, para ser usado en las vías. Según la hora del día y el tipo de vía, las tarifas fluctúan según la demanda variable y sus externalidades negativas asociadas. Los usuarios no pagan dinero de su bolsillo a menos que excedan la asignación de créditos recibida. Los conductores que gastan menos del límite pueden usar créditos más adelante o intercambiarlos por efectivo. Para conductores con necesidades de desplazamiento especiales, se les pueden asignar créditos extras.

El sistema CBCP tiene el potencial de ser una política de tarificación por congestión equitativa y efectiva, ya que los conductores pueden escoger si ahorrar créditos o gastar dicha asignación en base a sus necesidades de viaje. Este método de gestión del tráfico viario puede implementarse con facilidad, considerando las nuevas tecnologías de ETC. En este sentido, Kockelman y Kalmanje han hecho ensayos para su posible aplicación en las carreteras de Texas (2005).

4.2. Redes de carreteras

Varios sistemas de tarificación han sido propuestos para reducir la congestión en las redes de carreteras cobrando un peaje al pasar por puntos específicos (por ejemplo, en los peajes de cordón), o empleando una tarificación continua, (por ejemplo, basado en distancia recorrida, tiempo invertido en el viaje y tiempo gastado en congestión o varios de éstos). Se plantea un esquema tarifario en una red de carreteras cuando el principal objetivo es la modificación de la matriz de viajes en las diversas autopistas que la conforman.

Dependiendo del objetivo que busque la estrategia de tarificación (maximizar el bienestar social neto, mejorar la equidad, minimizar el tiempo total de viaje, etc.) es posible determinar cuál es el esquema tarifario que mejor se ajusta dentro de las restricciones reales de la red.

Tarificación en un punto

Este tipo de tarificación es fácil de explicar al público y su implantación empleando tecnología ETC, porque el mecanismo de tarificación sólo debe operarse en un punto. Estos espacios de cobro pueden estar aislados o agrupados (formando un cordón o anillo) alrededor de áreas definidas.

Tipo cordón o tarificación en un área

El esquema tipo cordón consiste en cobrar una tarifa plana a un vehículo por ingresar o abandonar una determinada zona de la ciudad durante algunas o todas las horas del día. La tarifa se fija en diversos puntos de la red y no depende del tiempo de permanencia o la distancia recorrida por el vehículo dentro del área. La configuración del esquema tarifario tipo cordón, como la llevada a cabo en Estocolmo 2006, Lon-

dres 2003, Trondheim 1991, Oslo 1990 o Bergen 1986, se aplica cuando el objetivo principal es gestionar el tráfico que entra o sale (en caso de cordones bidireccionales) de la zona limitada por el cordón.

Asimismo, es posible limitar el cobro de la tarifa a un determinado período. Esta alternativa se conoce como tarificación en un área o *Area Licensing* y puede aplicarse a los vehículos que usen la red de carreteras bien sea que (a) estén en movimiento o estacionados, o (b) solamente para los que estén en movimiento. El precio del viaje dentro del periodo de tiempo tarifado puede variar según la hora del día en que se realice, ya que las tarifas varían si el viaje se hace en periodos punta o en periodos valle. Singapur, en 1975, fue la primera ciudad en poner en práctica la aplicación de esta tipología tarifaria.

A raíz de los estudios realizados para el caso de Londres, se conoce que un solo cordón intercepta pocos viajes y excluye a viajeros que contribuyen a la congestión imponiendo la misma tarifa a todos los trayectos que lo cruzan, penalizando los trayectos cortos e infra-valorando los largos. Además, permite que muchos viajeros escapen de la tarifa reubicándose alrededor del cordón. En el caso de Londres, la peor congestión se localizaba fuera del área central y el impacto de un solo cordón alivió la congestión sobre los trayectos radiales, pero se agravó a través de la desviación del tráfico hacia los orbitales.

La localización de sensores al lado de la carretera posibilita delimitar la frontera del área tarifada y definir el cordón. La ubicación de la frontera del cordón puede basarse en dos consideraciones: (i) la identificación del área más congestionada de la ciudad y (ii) del tipo de cordón tal que no permita caminos alternativos, ya que si quedan rutas alternas disponibles para los conductores, la congestión se traslada hacia dichas carreteras y el problema no se resuelve.

Los cordones bidireccionales buscan solucionar lo que ocasionan algunos *commuters* que viajan durante las horas pico desde la zona interior del cordón hacia la zona exterior causando congestión, y cruzan la frontera del anillo durante los periodos no congestionados de tal forma que realmente no pagan el problema que ocasionan. Se resalta que, generalmente, las carreteras que están dentro del cordón se congestionan durante las horas de la mañana mientras que durante la noche son las carreteras que están fuera del anillo las que sufren este fenómeno, Santos et al. (2001). El diseño de doble cordón (un cordón exterior unido a un cordón interior al-

Tabla 2. Criterios para el diseño de cordones tarifarios.

Evitar impactos adversos

- El diseño debe asegurar la provisión de suficientes rutas alternativas para los conductores que deseen evitar el área tarifada;
- El diseño debe evitar la dispersión de los problemas de congestión y medioambiente a otras áreas;
- El diseño debe permitir las facilidades de intercambio fuera del cordón (ejemplo: *parking ride* o zonas de parking);
- El diseño debe asegurar que todos los puntos de entrada al área tarifada estén trabajando igual, tarifando o sin tarifar;
- La frontera del cordón debe estar asociada con la zona de control del parking para evitar la dispersión de la demanda de parking alrededor de la periferia del cordón.

Aceptación del público

- La estructura del cordón debe ser simple y fácil de entender;
- La estructura tarifaria debe ser simple y fácil de entender;
- La tarifa debe ser aceptable para el público;
- La tarifa debe ser percibida como justa por el público.

Ser práctico

- El número de puntos de cobro debe ser minimizado para reducir los costes de capital;
- El cordón debe estar localizado totalmente dentro del área de la ciudad.

(Fuente: May et al. 2002).

rededor del centro de la ciudad) permite incrementar el bienestar social mucho más que un cordón simple, Santos (2002).

Aunque en muchos estudios de *congestion pricing* se ha propuesto y puesto en práctica el uso del cordón para tarifar una determinada área del centro de la ciudad, pocos han especificado las bases para el diseño de los mismos. May et al. (2002), identifican un número determinado de criterios para el diseño del cordón, que aparecen agrupados en la Tabla 2. El problema del diseño óptimo de cordones implica escoger la ubicación de los puntos de cobro y la cantidad óptima a pagar que maximice el bienestar social.

Las críticas que se le hacen a este tipo de estructuras tarifarias son (May y Milne, 2000): (i) son inflexibles, ya

que la tarifa se fija en los puntos tarifados y no puede ser fácilmente relocalizados si las condiciones cambian; (ii) son inequitativos, porque imponen la misma tarifa tanto a los viajes largos como a los cortos y (iii) pueden ser perjudiciales, ya que contribuyen a la formación de congestión en las rutas frontera inmediatamente fuera del cordón, (efecto desbordamiento).

Tarifación continua

Como respuesta a las anteriores críticas se han desarrollado otros sistemas tarifarios aplicando una tarifa- ción continua sobre un área y una red definida. Este ti- po de esquemas tienen en cuenta la distancia recorri- da, el tiempo de viaje y el tiempo perdido a causa de la congestión.

Tarifación basada en la distancia recorrida

Con este sistema de tarificación continuo se busca que cada vehículo pague una tarifa según el número de kilómetros recorridos. Este esquema desincentiva al tráfico de paso a usar el área tarifada y estimula a la demanda que se origina en la zona de tarificación a usar las vías orbitales de mayor longitud pero sin tarifas. Si las tarifas son muy altas y las rutas orbitales no son atrayen- tes, la congestión aumenta en las distancias cortas (Sa- las et al., 2008b).

Tarifación basada en el tiempo de viaje

Con este esquema cada vehículo se tarifa de forma proporcional al tiempo que gasta viajando dentro de la red de carreteras a tarifar, independientemente de si el tiempo se invierte en demoras o circulando a velocidad libre. Bajo este sistema los conductores se animan a es- coger las rutas que minimicen su propio tiempo de viaje, lo que conlleva la desventaja de que al presentarse dos trayectorias con el mismo tiempo de travesía, aunque una de las cuales esté más congestionada que la otra (en promedio), las dos se tarifican de la misma manera, así que el sistema se aparta significativamente de la tari- ficación según el coste marginal.

Tarifación basada en las demoras o el tiempo que se gasta en congestión

Al implantar este tipo de tarifa, cada vehículo se ta- rifa de acuerdo con la estimación del componente del

tiempo de viaje debido a la congestión, es decir, según las demoras por colas en los arcos. Este sistema es lo más cercano posible a una verdadera medición de la congestión. Para alcanzar un nivel determinado de reducción de viajes o veh-km se requiere imponer tarifas altas, puesto que es relativamente fácil desviarse para evitarlas. Esta tipología de tarificación ha sido analizada por May y Milne (2000) y Smith et al. (1994), para la ciudad de Cambridge (UK).

Tanto este sistema como la tarificación basada en el tiempo de viaje total tienen el inconveniente de presentar un elevado coste en tecnología para su implantación y una relativa complejidad para ser aceptado. La incertidumbre para los usuarios acerca de las demoras que están causando al resto de viajeros y de lo que tendrán que pagar, produciría un comportamiento muy variable y difícil de predecir. Además, los conductores estarán menos dispuestos a modificar o a reducir su viaje debido a la poca fiabilidad del valor de las tarifas.

Tarificación compleja

Cuando existe una combinación de los esquemas tarifarios anteriores, la nueva estructura tarifaria recibe el nombre de configuración compleja. Este tipo de tarificación aún no han sido explotadas y se encuentran en fase de estudio (Salas y Robusté, 2006) sobre todo en ambientes metropolitanos para alcanzar una visión global que se ajuste con las actuales dinámicas de crecimiento urbanas. Según la topología de la red se pueden proponer estructuras de tarificación que provienen de la combinación de los esquemas tipo cordón y kilométrica de tal forma que se compensen las debilidades que presenta el cordón con las fortalezas de una tarifa basada en la distancia y viceversa (Salas et al., 2008a).

La tarificación compleja se puede establecer de maneras diversas: Por ejemplo (i) a partir de una estructura cóncava (segunda derivada negativa) cuya tarifa unitaria varíe en función de la distancia para favorecer a los *commuters* que recorren grandes distancias, (ii) cobrar una tarifa plana por acceder a una zona que está limitada con un cordón o un área de la ciudad, generalmente el *Central Business District* (CBD), y una tarifa de tipo kilométrica fuera del cordón por uso de la autopista. Para la aplicación de esta estructura tarifaria se requiere diferenciar precios según los sentidos de los flujos de circu-

lación (centro y periferia) y según las distancias de recorrido.

5. Tarificación por uso del vehículo

Otro de los objetivos de *Value Pricing* es estimular una utilización medida del vehículo particular (*Vehicle Use Pricing*) a través de pagar por el uso del vehículo en sí, no de la infraestructura. Dentro de estas medidas se pueden distinguir los siguientes tipos:

Seguro para automóviles en función de lo que se conduzca

Conocido como “*Pay As You Drive*” (PAYD), permite a las compañías de seguros proporcionar un incentivo para que los conductores utilicen poco el coche haciendo que la prima del seguro se pague en función de la cantidad de kilómetros recorridos. Esta opción se extiende cada vez más, dada la posibilidad de instalar una unidad de GPS “*Global Position System*” en los vehículos. Algunos estudios estiman que los proveedores de pólizas de seguros PAYA conducen un número de kilómetros de entre un 10% y 20% menos, lo que significa asimismo un ahorro en accidentes y contaminación.

La compañía de seguros inglesa *Norwich Union* ofreció este tipo de seguros a los conductores en una base limitada desde el 2003 hasta 2008, y en el 2005, el Congreso de los EU autorizó el Proyecto Federal para el transporte llamado SAFETEA-LU, el cual incluye otros US\$3 millones anuales para incentivar los proyectos que involucren los seguros PAYD. Por su lado, muchos estados norteamericanos (Oregón, Minnesota, Texas, Washington, California) están aplicando políticas de seguridad PAYD (VTPI, 2007).

Impuestos y leasing de automóviles en función del número de kilómetros

Más del 80% de los costes de propiedad y operación del vehículo son fijos. Este tipo de *Value Pricing* facilita utilizar las bases de PAYD para admitir que el *leasing* (alquiler con opción de compra) y los impuestos se paguen en función de la cantidad de kilómetros que se recorran, desincentivando de esta manera el uso del coche. Una vez una persona ha decidido adquirir un vehículo, generalmente hay

pocos alicientes financieros por usarlo extensivamente. Así, puede verse este mecanismo como una variante de la tarificación basada en la distancia, donde los costes de alquilar un vehículo se fundamentan en el número de kilómetros recorridos y la depreciación de su valor. Por lo tanto, cuanto más conduzca su vehículo, más tendrá que pagar, mientras que a menor conducción, mayor ahorro.

Coche compartido

El coche compartido de alquiler o “*Carsharing*” es un novedoso y voluntario concepto de movilidad que promueve el uso racional del coche sin necesidad de ser propietario, convirtiendo los costes fijos de propiedad en variables. Un cuello de botella del *carsharing* es su distribución en aparcamientos urbanos y la previsión de la demanda. Actualmente se está expandiendo su uso aplicando diferentes estrategias: sistema de *carsharing* con descuentos haciendo reserva, tarificación de *carsharing* en hora punta, uso de vehículos particulares en determinados momentos como *carsharing* y compensación a sus propietarios, etc. Este sistema requiere algunas características: accesibilidad (por ejemplo, localizado en o cerca de barrios residenciales), precio moderado (tarifas razonables, convenientes para viajes cortos), conveniencia (los vehículos *check in* y *check out* con facilidad en cualquier momento) y fiabilidad (que los vehículos estén disponibles y sin fallos mecánicos).

El *Carsharing* tiende a incrementar la equidad, mejorando las opciones de movilidad de aquellas personas con opciones de transporte limitadas. Además, permite a los conductores con niveles de ingreso bajos ahorros financieros significativos comparados con los de la propiedad de vehículo (VTPI, 2007). La red de *carsharing* (www.carsharing.net) identifica las distintas organizaciones establecidas en Europa y Estados Unidos. La combinación de esta iniciativa con conceptos de tarificación tales como, carriles HOT, carriles FAIR podría tener un efecto sinérgico en la reducción de la congestión y ofrecer oportunidades excepcionales para demostrar la efectividad de estas medidas y mejorar su aceptabilidad.

Las iniciativas de *carsharing* existentes en España son aún incipientes aunque de demanda creciente y se limitan a usuarios urbanistas que durante la se-

mana utilizan el transporte público y durante el fin de semana salen fuera de la ciudad en coche de alquiler, debiendo regresar el coche al mismo aparcamiento donde se ha recogido.

6. Tarificación por aparcamiento

Parking Cash-Out

En muchos lugares de trabajo, las empresas proporcionan la posibilidad de parking gratuito a sus empleados. Sin embargo, la provisión de lugares de aparcamiento supone unos costes de capital y operación que no pueden despreciarse. Para disminuir estos costes, existe el *Parking Cash-Out*, por el cual algunas empresas retribuyen al empleado una compensación, ya sea monetaria, en forma de pases de tráfico u otras alternativas, por dejar libre el estacionamiento (Shoup y Willson, 1992).

Además del ahorro que supone la liberación de aparcamientos, esta iniciativa puede mejorar las condiciones de circulación en la red disminuyendo efectos negativos como la congestión o la polución. Ante la oferta de recibir una compensación, muchos trabajadores decidirán variar su forma de transporte para acceder al trabajo con tal de poder obtener dicha contraprestación. El *Parking Cash Out* funciona mejor en áreas donde el transporte público es accesible o donde los empleados deseen hacer uso del *carsharing* o de modos alternativos de transporte como la bicicleta e incluso caminar (DeCourla-Souza, 2004).

Zonas de Estacionamiento Regulado

A raíz de los problemas de movilidad y déficit de aparcamientos en muchas ciudades del mundo existen las zonas de aparcamiento reguladas, creadas para controlar el tiempo que permanecen los coches estacionados sobre la vía pública.

En el caso concreto de Barcelona, las zonas verdes permiten regular las plazas de aparcamiento en determinadas zonas de la ciudad favoreciendo a los residentes de la misma, mientras que para los visitantes las tarifas son más altas y el tiempo de permanencia es controlado (máximo 2 horas, en el caso de Barcelona). Las zonas reguladas de aparcamientos en la vía pública que facilitan ordenar el aparcamiento,

Tabla 3. Síntesis de las experiencias de *Value Pricing* en funcionamiento en las autopistas de España

Vía	Operador	Descripción
AP-51 – AP-6: <i>Ávila – Villacastín</i> AP-61 – AP-6: <i>Segovia – San Rafael</i>	Castellana de Autopistas, S.A. (Iberpistas – Abertis)	Autopista AP-6 conexión con Ávila y Segovia: Las tarifas se fijan según el tipo de vehículo y la hora del día (valle, normal y punta). Además, se recogen descuentos a clientes frecuentes y habituales que paguen mediante VIA T o una misma tarjeta de crédito, (http://www.iberpistas.es).
E-9 / C-16: <i>Barcelona – Sant Cugat</i>	TABASA Túnel i Accesos de Barcelona, S.A.	Túneles de Vallvidrera: Las tarifas varían según la hora del día (horas valle/punta). Además, contempla el descuento por frecuencia de uso a los usuarios del sistema de pago VIA T aunque también permite la adquisición de unas tarjetas para el pago que permiten beneficiarse de otros descuentos alternativos. En un futuro inminente, contemplará descuentos según la ocupación de los vehículos (+3) y según sus emisiones (http://www.tunelsdevallvidrera.com).
AP-71: <i>León – Astorga</i>	AULESA Autopistas de León, S.A.	Autopista de peaje León – Astorga: Las tarifas son variables según horario nocturno y diurno. Considera descuentos por frecuencia de paso a aquellos usuarios que paguen mediante VIA T o una misma tarjeta de crédito. (http://www.aulesa.es).
AP-7: <i>Valencia – Alicante</i>	Autopistas Aumar S.A.C.E. (Abertis)	Autopista Valencia – Alicante: El valor de las tarifas depende de la tipología del vehículo y de la franja horaria (horas valle/punta). Además se recoge la posibilidad de obtener descuentos por frecuencia de uso utilizando el sistema de pago VIA T o una misma tarjeta de crédito. (http://www.aurmar.es).
R-2: <i>Madrid – Guadalajara</i>	HENARSA Autopista del Henares, S.A.	Radial 2 de Madrid: Las tarifas varían considerando los niveles de demanda correspondientes a horario nocturno y diurno. Además, considera descuentos por frecuencia de paso a aquellos usuarios que paguen mediante VIA T o una misma tarjeta de crédito. (http://www.radial2.com)
Túneles de Artxanda <i>Bilbao</i>	Sociedad Artxandako Tunelak (Europistas)	Túneles de acceso a la villa de Bilbao: En sus tarifas para cada tipo de vehículo se establece un precio distinguiendo entre hora punta y hora valle y permitiendo la circulación gratuita en las horas nocturnas. Además, se establecen descuentos a usuarios habituales que utilicen VIA T. (http://www.tunelesdeartxanda.com)
AP-7: <i>Alicante</i>	CIRALSA, S.A.	Circunvalación de Alicante: Las tarifas varían según el nivel de demanda (hora punta/valle). Además, se establecen descuentos a usuarios habituales que utilicen VIA T. (http://www.ciralsa.com).
R-4 - AP-36: <i>Madrid – La Roda</i>	CINTRA, S.A.	Autopista Madrid-Levante: Considera un 10% de rebaja para vehículos de alta ocupación (>3 ocupantes) y vehículos que circulen en fines de semana y festivos en temporada alta. También incluye bonificación para usuarios frecuentes utilizando VIA T y residentes o familias numerosas. (http://www.autopistamadridlevante.com)
R-3 y R-5: <i>Madrid – Arganda</i>	Accesos a Madrid C.E.S.A.	Radial 3 y 5 de Madrid: Las tarifas varían para cada tipo de vehículos en función de la hora del día (hora punta/valle) y se consideran descuentos a usuarios habituales mediante el pago con VIA T. (http://www.accesosdemadrid.es).
AP-7: Murcia	AUCOSTA Autopista de la Costa Cálida C.E.A.	Autopista AP-7 entre Cartagena y Vera: Tarifas variables considerando 2 franjas horarias correspondientes a horario nocturno y diurno. Además considera descuentos por frecuencia de paso a aquellos usuarios que paguen mediante VIA T o una misma tarjeta de crédito, (http://www.aucosta.es).

(Fuente: Enlaces Web correspondientes)

controlar la indisciplina y facilitar a los residentes de la zona lugares para estacionar el vehículo.

7. Experiencias nacionales

En España, el número de actuaciones que pueden enmarcarse dentro del concepto de *Value Pricing* son reducidas. Además, su implantación es reciente en comparación con el ámbito internacional donde existen ejemplos de algunas medidas que cuentan con varias décadas de experiencia. Estos casos son una demostración real del buen funcionamiento de este tipo de iniciativas y deberían constituir un ejemplo para incentivar su aparición dentro del territorio nacional.

Así, en el caso de las autopistas españolas son relativamente pocas las carreteras que incorporan iniciativas a la hora de fijar la tarifa que vayan más allá de los simples descuentos por uso de la infraestructura, ligados a una determinada forma de pago (a través de VIA T o utilizando siempre una misma tarjeta de crédito).

Dejando de lado esta iniciativa común existen diversas autopistas donde el valor del peaje depende de la franja horaria. Concretamente, existen algunos casos en los que simplemente se fija una tarifa distinta según se circule de día o de noche. Por otro lado, algunos operadores van más allá y fijan el valor de la tarifa distinguiendo entre las horas valle, con menor ocupación de la vía, y las horas punta, cuando el valor de la tarifa es superior, independientemente de si se trata del día o la noche (aunque gran parte de las horas valle coinciden con el período nocturno).

Finalmente, existe también algún ejemplo de descuentos en función de la ocupación del vehículo, aunque se trata de una medida que no está prácticamente extendida. En la tabla 3, se muestran los principales ejemplos de implantación de conceptos de *Value Pricing* más allá de los descuentos por frecuencia de uso, en el ámbito de las autopistas españolas.

Pese a que existen algunos ejemplos de medidas de *Value Pricing* implantados ya en el territorio español, se trata de experiencias muy limitadas. Asimismo, cabe destacar que son muy pocos los casos que podrían enmarcarse dentro de la gestión de la movilidad urbana, ya que la mayoría de estas vías corresponden a corredores interurbanos o metropo-

litanos. Las primeras aplicaciones de “Value Pricing” urbano en España se están haciendo vía regulación del estacionamiento, regulación de velocidad y de espacio para el vehículo privado en los centros de las ciudades y sus accesos, variables “proxy” de la tarificación por congestión.

8. Conclusiones

En este artículo se ha revisado la situación actual respecto a la implantación y el funcionamiento de las distintas medidas de *Value Pricing* encaradas a la gestión de la movilidad urbana. El común denominador de todos estos mecanismos es el objetivo de paliar los diferentes efectos negativos que se derivan del fenómeno de la congestión del tráfico. Uno de los parámetros claves para la cuantificación de los costes de congestión es la valoración monetaria de los ahorros en tiempo de viaje que se produce tras la aplicación de una tarifa. De esta manera, a través de la aplicación de un peaje se consigue internalizar la pérdida de eficiencia generada por las demoras que ocasiona un uso excesivo de las infraestructuras.

Asimismo, a la vez que se limita la incidencia de la congestión, se favorece la movilidad de los usuarios y, en algunos casos, se mejora el funcionamiento de la red de carreteras y calles de manera global. En este sentido, ha resultado clave el avance tecnológico acontecido en los últimos años. A través de este progreso se han logrado mejorar los métodos existentes para la cuantificación y recaudación de las tarifas, posibilitando la implantación de medidas de *Value Pricing* que permiten disminuir el uso del vehículo, consiguiendo un uso eficiente de las infraestructuras viales y, por ende, un incremento del bienestar social. El tiempo perdido en congestión es una pérdida social, mientras que la tarificación convierte ese tiempo en recaudación que puede emplearse en mejoras de la movilidad (sostenible) (Vickrey, 1969).

Las experiencias internacionales resumidas en este artículo demuestran la efectividad de este tipo de actuaciones para gestionar la movilidad, que repercuten positivamente en el global de la sociedad. Finalmente, se identifican las medidas que están siendo aplicadas en España. Actualmente, el desarrollo de la gestión del tráfico a través del *Value Pricing* se limita a la implantación inicial, por parte de algunas empresas concesionarias, del cobro de tarifas diferenciadas en función de la

hora del día (hora punta/valle) en la mayoría de los casos, y en función de la ocupación vehicular (en un solo caso).

De la revisión del grado de establecimiento en España de las políticas de gestión del viario a través de la tarifa se puede llegar a varias conclusiones. Por un lado, se aprecia que no existe una homogeneidad de criterios a la hora de aplicar este tipo de medidas. Como se ha visto en el artículo, muchos de los mecanismos revisados interactúan entre sí, pues afectan a distintos aspectos del desplazamiento de los vehículos (el uso de la carretera, del vehículo y el aparcamiento del mismo en destino), de manera que un enfoque global de los mismos produciría un mayor beneficio. Asimismo, el ámbito de aplicación tan limitado refleja la necesidad de un cambio de mentalidad por parte de los usuarios y particularmente de la Administración, quienes deben ser

conscientes de las numerosas ventajas que conllevan la aplicación de los modelos de gestión de la movilidad que han sido expuestos, y en el caso de la Administración tanto del Estado como de las CC.AA y las locales, deben instar en los pliegos de condiciones de las nuevas concesiones a incorporar este tipo de medidas.

9. Agradecimientos

El contenido del artículo se engloba dentro de los trabajos realizados en el marco del Proyecto Gestión del viario mediante Tarifa (GESTA), financiado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento, un proyecto de investigación complementario al META (Modelos Español de Tarifación de Carreteras). ♦

Referencias:

- Bertrand, T.J. (1977). 'Second Best' Congestion Taxes in Transportation Systems. *Econometrica*, Econometric Society, vol. 45(7), pages 1703-15, October.
- Button, K. (2004). Road pricing. *Final report of ITS Center project*. For the Center for ITS Implementation Research. A U.S. DOT University Transportation Center.
- DeCorla-Souza, P. (2006). Congestion Pricing A Primer. Federal Highway Administration. Office of Transportation Management, HOTM. Disponible en: <http://ops.fhwa.dot.gov/publications/congestionpricing/index.htm>.
- DeCorla-Souza, P. (2004). Recent U.S. Experience: Pilot Projects. In Santos, G. editor. *Road pricing: Theory and evidence. Research in transportation economics*, volume 9. Elsevier JAI. ISBN: 0-7623-0968-7. Amsterdam.
- Flores, E., y T. Egan, (2005). Paying on the Highway to Get Out of First Gear. *The New York Times*. Published, April 28.
- Kockelman, K., y S. Kalmann, (2005). Credit-Based Congestion Pricing: A Policy Proposal and Public's Response. *Transportation Research A* 39: 671-690.
- Lindsey, R. (2003). Road pricing issues and experiences in the US and Canada. *IMPRINT-EUROPE Fourth Seminar "Implementing Pricing Policies in Transport: Phasing and Packaging"*, Katholieke University of Leuven, Bélgica.
- May, A.D., R. Liu, S. P. Shepherd, A. Sumalee, (2002). The impact of cordon design on the performance of road pricing schemes. *Transport Policy* 9: 209-220.
- May, A., y D. Milne, (2000). Effects of alternative road pricing systems on network performance. *Transportation Research A* 34: 407-436.
- Nash, C. et al. (2003). *UNITE* (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Final Report for Publication. University of Leeds. Disponible en: <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/unite/>
- Pigou, A. (1920). *The Economics of Welfare*, Macmillan, London.
- Salas, M. (2008). Análisis de estrategias tarifarias para la gestión de carreteras en ámbitos metropolitanos. *Tesis doctoral*. Director Francesc Robusté. Co-

- director Sergi Saurí. Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Salas, M., F. Robusté y S. Saurí. (2008a). Evaluación de efectos al implantarse una estructura tarifaria combinada sobre una red de vías metropolitanas congestionadas. *XV Congreso Pan-Americano de Ingeniería de Tránsito y Transporte (PANAM XV)*. Cartagena de Indias - Colombia.
- Salas, M., F. Robusté y S. Saurí. (2008b). Effects on Social Welfare due to Alternative Road Pricing Schemes. *Transportation Research Board. 87th Annual Meeting* CD-ROM, National Research Council, Washington, D.C.
- Salas M. y F. Robusté. (2006). Estrategia de tarificación *complex* para la gestión del tráfico de carreteras en ámbitos metropolitanos. *Actas del VII Congreso de Ingeniería del Transporte*. Universidad de Castilla-La Mancha. Ciudad Real-España.
- Santos, G. (2002). Double cordon tolls in urban areas to increase social welfare. *Transportation Research Record* 1812: 53-59.
- Santos, G., D. Newbery y L. Rojey. (2001). Static vs Demand Sensitive Models and the Estimation of Efficient Cordon Tolls: An Exercise for Eight English Towns. *Transportation Research Record* 1747: 44-50.
- Shoup, D. C., y R. W. Willson (1992). Employer-Paid Parking: the Problem and Proposed Solutions. *Transportation Quarterly*, Abril, 169-192.
- Smith, M., A. May, M. Wisten, D. Milne, D. Van Vliet, M. Ghali. (1994). A comparison of the network effects of four road-user charging systems. *Traffic Engineering and Control*, 35 (5).
- Vickrey, W. (1969). Pricing in urban and suburban transport. *American Economic Review*, 53, 452-465.
- Victoria Transport Policy Institute (2007). Pay-As-You-Drive Vehicle Insurance. Converting Vehicle Insurance Premiums Into Use-Based Charges. Informe disponible en: <http://www.vtpi.org/tadm/tadm7.htm>. (Consultado en Junio 2007)
- Walters, A. (1961). The theory and measurement of private and social cost of highway congestion. *Econometrica* 29, 676-697.
- Washington State Department of Transport -WSDOT (2003). Hot lanes: Pilot Project Analysis. Informe disponible en www.wsdot.wa.gov/projects/SR167HotLanes. (Consultado en Julio 2007)