



Ana Condeço,  
UCM, Departamento de Geografía Humana, Facultad  
de Geografía Historia, Calle Prof. Aranguren, S/N,  
28040, Madrid, [amcondeco@gmail.com](mailto:amcondeco@gmail.com)

Javier Gutiérrez,  
UCM, Departamento de Geografía Humana, Facultad  
de Geografía Historia, Calle Prof. Aranguren, S/N,  
28040, Madrid, [javiergutierrez@ghis.ucm.es](mailto:javiergutierrez@ghis.ucm.es)

Juan Carlos García-Palomares,  
UCM, Departamento de Geografía Humana, Facultad  
de Geografía Historia, Calle Prof. Aranguren, S/N,  
28040, Madrid, [jcgarcia@ghis.ucm.es](mailto:jcgarcia@ghis.ucm.es)

## **Impactos de la tarificación de carreteras sobre la accesibilidad en áreas urbanas.**

### **El caso de la comunidad de Madrid**

#### **Acessibilidade, Mobilidade e Infra-estruturas de Desenvolvimento**

### **1. Introducción**

En el Libro Blanco de los Transportes (COM, 2001) se señala que los costes externos derivados de la congestión sumaban ya en 2001 un 0,5% del PIB de la UE, pero además las previsiones de crecimiento de tráfico para el año 2010 suponían un aumento de la congestión en las carreteras del orden del 142%, lo que equivale a 80 billones al año, aproximadamente un 1% del PIB de la UE. En este Libro Blanco la Comisión apunta a que esta tendencia puede ser suavizada si los usuarios del transporte toman conciencia de los costes que generan, mediante el pago de una tarifa. Según la Comisión el sistema actual de tarificación mediante impuestos (de circulación, sobre los combustibles, etc.) se muestra inadecuado al no recoger los costes de la infraestructura, congestión, ambientales y de accidentes.

Por otra parte, los principales problemas de congestión se localizan en las áreas metropolitanas, en España en especial en las vías radiales de acceso a los espacios centrales o en determinados cinturones orbitales. Este problema está empezando a amenazar la competitividad económica de los espacios metropolitanos y tiene evidentes implicaciones desde el punto de vista ambiental (CCEIM y Fundicot, 2009).

El objetivo de esta comunicación es estudiar los impactos de las políticas de tarificación de carreteras sobre la accesibilidad y la cohesión territorial en los espacios metropolitanos. La accesibilidad es un concepto muy general, que agrupa diversas definiciones (Hansen, 1959; Muraco, 1972; Ben-Akiva y Lerman, 1979; Kwan, Mei-Po, 1998) y que puede ser medido a través de indicadores. En este estudio la accesibilidad sigue la definición propuesta por Hansen que relaciona la accesibilidad de un territorio con el número de oportunidades disponibles para interactuar. El potencial de esas oportunidades disminuye con el aumento del coste de superar la distancia para alcanzarlas. La introducción de políticas de tarificación de carreteras tiene un reflejo directo sobre la accesibilidad de los diferentes territorios. Los costes de transporte se

incrementan debido a las tarifas, lo que reduce la accesibilidad. No obstante, este efecto puede suavizarse o incluso revertirse gracias a la esperada reducción de la congestión en las carreteras y con ella la reducción de los costes derivados de los tiempos de desplazamiento.

El estudio de los cambios de accesibilidad es importante por su potencialidad para influir en el comportamiento de los habitantes y de las empresas localizadas en un área (Tillema, 2008). En el corto plazo, los individuos pueden decidir modificar los viajes que habitualmente realizan (por ejemplo cambiar el modo de transporte, la hora del viaje, etc.). En el largo plazo, las tarifas pueden influir en las decisiones de (re)localización espacial de los habitantes o empresas. Los cambios en la accesibilidad son expresivos de posibles cambios en los patrones de crecimiento metropolitano a largo plazo, en tanto que los espacios que experimentan mayores pérdidas de accesibilidad perderán atractivo para individuos o empresas.

Frente al enfoque clásico de la mejora de las infraestructuras y sus consecuencias positivas sobre la accesibilidad, la introducción de tarifas –en el marco del paradigma del transporte y la movilidad sostenibles– tiende a producir una reducción de la accesibilidad. Por lo tanto, aunque desde el punto de vista del reparto modal de los viajes la tarificación de carreteras produce efectos favorables derivando desplazamientos hacia modos más respetuosos con el medio ambiente, desde la perspectiva de la accesibilidad, los impactos pueden ser negativos al aumentar el coste generalizado del transporte por carretera. Si la reducción de los costes de interacción permite que el sistema económico pueda funcionar de forma más eficiente, el aumento del coste del viaje debido a la tarificación actúa en sentido opuesto: aumentan los costes de los operadores de transporte y esos incrementos de precios se derivan hacia otros sectores, produciendo un incremento del índice de precios al consumo. Al mismo tiempo, los individuos tienen menos capacidad de gasto y por lo tanto se produce una reducción del consumo. Sin embargo, estos efectos no parece que puedan ser muy acusados y en todo caso dependerán de la cuantía de la tarifa.

Por otro lado, las políticas de tarificación de carreteras pueden afectar a la cohesión territorial, en función de las características del sistema implantado (Condeço et al., en prensa). El concepto de cohesión territorial supone *“un desarrollo más equilibrado, reduciendo las disparidades, evitando desequilibrios territoriales”* (CEC, 2004, pp. 27). Dependiendo de donde se localicen las pérdidas de accesibilidad, los cambios producidos por la tarificación de carreteras pueden afectar a la cohesión territorial.

En el siguiente apartado vamos a profundizar sobre los efectos de la tarificación de carreteras en la accesibilidad, la movilidad y distribución de los usos del suelo en los espacios metropolitanos, y como pueden afectar a la cohesión territorial. Posteriormente, se presenta la metodología para la evaluación de distintos tipos de modelos teóricos de tarificación sobre la accesibilidad y la cohesión territorial en el área metropolitana de Madrid. Los resultados se presentan en el apartado 4 y por último se exponen las conclusiones principales.

## **2. Relación entre tarificación, movilidad, accesibilidad y usos del suelo**

La tarificación de carreteras tiene su reflejo inmediato en la accesibilidad regional. El coste adicional por el pago de la tarifa afecta a la accesibilidad de los territorios y tiene repercusiones en la movilidad (a corto y medio plazo) y en la distribución de los usos del suelo (a largo plazo). La figura 1 trata de reflejar esas relaciones.

Figura 1. Relaciones entre tarificación, accesibilidad, movilidad y usos del suelo

## Efectos de la tarificación



Fuente: Elaboración propia

La implementación de tarifas aumenta el coste de transporte y modifica la accesibilidad de los territorios. Por ello se pueden ver alteradas las pautas de **movilidad** de los usuarios. Algunos de los efectos sobre la movilidad serán casi inmediatos, como los cambios en la elección de la ruta, en la hora de salida, en el modo de transporte utilizado o en la frecuencia de los desplazamientos. Otros serán cambios a medio plazo que tienen que ver con la modificación de los destinos habituales donde los usuarios desarrollan actividades de ocio u otras actividades (Tillema, 2008).

Estos cambios en la movilidad hacen también que la implantación de la tarifa pueda contribuir a reducir la congestión de la vía, aumentando su utilidad para aquellos que siguen utilizándola y permitiendo ahorros en sus tiempos de desplazamiento. Sin embargo, se va a producir una pérdida de accesibilidad para aquellos que dejan de utilizar la vía ("*desutilidad*"), ya sea por un cambio de ruta o porque cambien de modo de transporte, abandonando el coche y pasándose al transporte público. Las vías no tarifadas van a recibir nuevos flujos, con el consiguiente incremento de la congestión. Los cambios en la movilidad suponen así nuevos cambios en la accesibilidad, en tanto que las nuevas distribuciones de flujos modifican el grado de congestión de la vía tarifada y de otras carreteras.

Junto a los cambios en la movilidad, la tarificación producirá otro tipo de cambios que afectarán a la distribución de los **usos del suelo**. Estos serán cambios más a largo plazo, producidos por el cambio de oportunidades resultante de la modificación de los patrones de movilidad y, sobre todo, de la accesibilidad. En el caso de los hogares, pueden producirse cambios de residencia y, aunque más raramente, del lugar de trabajo. A su vez, también en las actividades pueden cambiar las políticas de localización, buscando otras localizaciones no penalizadas por la tarificación.

La utilización de indicadores de accesibilidad permite reflejar los efectos producidos por la tarificación de carreteras en la movilidad y en los usos del suelo. En su formulación, estos indicadores suelen incluir una componente que representa el coste de desplazamiento a través de las infraestructuras y otra que refleja la distribución de las actividades económicas. La introducción de tarifas producirá inicialmente un cambio en la componente de la accesibilidad que representan las infraestructuras, debido a la variación de los costes de transporte y a las modificaciones en los patrones de movilidad de los usuarios. Como hemos visto, estos cambios pueden ser negativos (más coste por la tarifa) o positivos (menos coste por menor congestión y por tanto menores tiempos de viaje). Normalmente, en términos de coste generalizado de transporte, la disminución de los tiempos de viaje puede no compensar el pago de una tarifa, verificándose en estos casos una pérdida de accesibilidad. A medio y largo plazo cambiará la componente de accesibilidad que representa las actividades económicas, debido a la expansión o pérdidas de los territorios como destinos de ocio, residencia y trabajo.

Los cambios de accesibilidad pueden ser utilizados para medir los efectos de estas políticas sobre la cohesión territorial. Según la UE<sup>1</sup>, el acceso igualitario a servicios de interés económico general es una de las premisas para conseguir el objetivo de la cohesión territorial. En el caso de la tarificación de carreteras puede ocurrir que los efectos negativos se concentren sobre todo en áreas centrales o que por el contrario, penalicen más a los territorios periféricos. Las implicaciones sobre la cohesión territorial son evidentes, en el primer caso las áreas centrales se verían perjudicadas, lo que podría aumentar el atractivo de otros territorios de cara a la implantación de empresas y áreas residenciales. Si ocurriera una redistribución de actividades y residencias hacia territorios anteriormente menos desarrollados mejoraría su accesibilidad y la cohesión territorial. Aunque también estos efectos pueden derivar en una mayor expansión metropolitana. Sin embargo, si la política de tarificación perjudica sobre todo a los territorios menos accesibles, ocurriría un aumento de las disparidades regionales en materia de accesibilidad y un deterioro de la cohesión territorial.

En cualquier caso, de cara a la planificación de este tipo de políticas es importante identificar los territorios donde ocurren las mayores pérdidas de accesibilidad. Estos territorios deberían merecer una especial atención por parte de los políticos, que deberían compensar de algún modo sus pérdidas de accesibilidad (ej. mejorando el transporte público).

### **3. Medición de la accesibilidad y la cohesión territorial en condiciones de tarificación**

Analizar los cambios de accesibilidad en condiciones de tarificación de carreteras requiere un gran esfuerzo metodológico. Por un lado la distancia debe ser medida utilizando una función de coste generalizado de transporte. Esto requiere la asignación de valores económicos a parámetros como el tiempo de viaje, costes de mantenimiento de los vehículos y costes externos (ambientales, accidentes, mantenimiento de la infraestructura) que se quieran incluir en la tarifa. Mientras que algunos de estos costes pueden ser medidos de forma más o menos objetiva, por ejemplo se puede saber el precio del combustible o de los neumáticos para un vehículo determinado, otros parámetros son más difíciles de estimar. Uno de los más subjetivos es el valor del tiempo, que depende de aspectos como la renta de los usuarios, el motivo de los viajes, etc.

Además hay que cuantificar los posibles beneficios de una política de este tipo. En particular, los cambios en los niveles de congestión de las carreteras debidos a la introducción de las tarifas. A continuación veremos el caso de estudio y propondremos diferentes modelos de tarificación para su evaluación. Después presentaremos la metodología para calcular los impactos de esos diferentes modelos tarifarios sobre la accesibilidad y la cohesión regional.

#### **3.1. El caso de estudio**

Se ha elegido la Comunidad de Madrid como el espacio sobre el que estudiar los efectos de sistemas de tarificación sobre su red viaria. Se proponen cuatro escenarios teóricos de tarificación, que se diferencian por su localización, el precio y tipo de las tarifas (Tabla 1).

Cada escenario responde a principios económicos relacionados con la gestión de las redes de carreteras. Los dos primeros introducen una tarifa tipo cordón donde los usuarios pagan por ingresar a la ciudad, y no depende del tiempo de permanencia o de la distancia que se recorra. Se proponen dos escenarios, uno sobre el centro histórico de la ciudad (E1), mucho más reducido (un solo distrito), y otro mayor, sobre el interior de la primera orbital metropolitana de la ciudad (los 7 distritos centrales, E2). A raíz de las experiencias de algunas ciudades donde se ha implementado un peaje de este tipo (Londres, Estocolmo, Oslo, entre otras) se sabe que este tipo de tarifas penalizan sobre todo los trayectos cortos y, en algunas ocasiones, generan problemas de congestión alrededor del cordón. En cualquier caso, se trata de penalizar una relación bien servida por el transporte público y potenciar así el uso de estos.

---

<sup>1</sup> Diario Oficial C 306/2 de 17.02.2007

El tercer escenario (E3) introduce una tarificación en el segundo cinturón orbital (la M40). Se penaliza la entrada a la orbital y los kilómetros recorridos en la misma. Finalmente, se propone una tarificación kilométrica en las autovías radiales (E4), que busca que cada vehículo pague una tarifa según los kilómetros recorridos. Los viajes más largos son más perjudicados que los viajes cortos, siendo previsibles importantes cambios en las rutas hacia carreteras no tarifadas, como por ejemplo las orbitales, y sobre todo el transvase a modos de transporte público en esas relaciones más largas. En el caso de Madrid, es además en los corredores radiales donde las redes de transporte público se muestran más eficaces, lo que facilitaría ese transvase modal. El escenario E0 representa la situación sin tarifas.

Los precios de las tarifas (Tabla 2), así como los demás costes que formarán parte de la función de coste generalizado de transporte han sido estimados en el marco del proyecto GESTA (*GEStión del viario mediante TARifa que maximice el beneficio social para una movilidad sostenible*, PT-2007-036-04CAPP), por el grupo de investigadores de Transyt de la Universidad Politécnica de Madrid.

Tabla1. Escenarios considerados en el estudio

Nombre del escenario	Características
E0	Representa la situación de las carreteras en la situación actual, incluyendo los peajes vigentes.
E1	Peaje tipo cordón en el distrito centro
E2	Peaje tipo cordón por entrada al interior de la primera orbital metropolitana (M30) (7 distritos centrales)
E3	Peaje mixto en la M40, en el que se combina un peaje por entrada a la M40 y un peaje por kilómetro
E4	Peaje kilométrico en las autovías radiales de la Comunidad de Madrid

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Valores económicos de los parámetros incluidos en la función de coste generalizado de transporte

	E0	E1	E2	E3	E4
Valor del tiempo	9€/h	9€/hv	9€/h	9€/h	9€/h
Operación del vehículo	0,10€/veh-km	0,10€/veh-km	0,10€/veh-km	0,10€/veh-km	0,10€/veh-km
Tarifa	Las vigentes	3€	1,50€	0,1€/veh-km + 1€	0,15€/veh-km

Fuente: Elaborado a partir de GESTA (PT-2007-036-04CAPP)

Para la implementación de los análisis de accesibilidad se ha trabajado en un Sistema de Información Geográfica (SIG), donde se utilizó una red digital de carreteras y un conjunto de 638 zonas que representan los lugares de origen y destino de los viajes. La red está compuesta por aproximadamente 150.000 arcos, cubriendo toda el área de estudio, con un grande nivel de detalle. En la tabla de atributos asociada a la red, cada arco se clasifica según tipos de vía a los cuales están asociadas diferentes velocidades.

Mientras que los indicadores de accesibilidad pueden ser calculados de forma relativamente sencilla con los SIG, los cambios de las pautas de movilidad requieren el uso de modelos de transporte más avanzados. En este estudio, se combinan los resultados de un modelo de simulación de tráfico (Visum), que sirvió para calcular los tiempos de viaje en cada escenario y un SIG (ArcGIS/ArcINFO), donde se realizaron los análisis de accesibilidad.

### 3.2. Impactos sobre la accesibilidad y la cohesión territorial

El indicador de accesibilidad seleccionado para medir los impactos de la tarificación fue el indicador de *potencial económico*. Este indicador representa las potencialidades de cada zona para acceder a los centros de actividad económica. Su formulación es de tipo gravitatorio, lo que significa que la accesibilidad de un territorio se relaciona positivamente con el peso de las oportunidades a las que puede acceder e inversamente con la distancia necesaria para alcanzarlas. Su expresión matemática es la siguiente:

$$AE_i = \sum_{j=1}^n \frac{E_j}{C_{ij}^\alpha} \quad (1)$$

Donde:

$AE_i$ , es la accesibilidad de la zona  $i$ ;

$E_j$ , es la importancia económica del centro de destino  $j$ . En nuestro caso la variable utilizada ha sido el empleo.

$C_{ij}$ , es el coste generalizado de transporte, considerando la ruta de mínimo costes a través de la red, entre la zona de origen  $i$  y la zona de destino  $j$ .

$\alpha$ , es el exponente que representa la fricción de la distancia. Cuanto mayor es el valor del exponente, más importantes son las relaciones establecidas a cortas distancias. Este parámetro se ha estimado a partir de datos de movilidad, utilizando un modelo gravitatorio sin restricción (Reggiani and Bucci, 2008). El valor obtenido fue de 1,6.

El coste generalizado de transporte ( $CGT_{ij}$ ) del recorrido entre el origen  $i$  y el destino  $j$  se obtiene sumando los costes asociados al tiempo (CT), los costes kilométricos (CKm) y el peaje correspondiente (P), según:

$$CGT_{ij} = CT_{ij} + Ckm_{ij} + P_{ij} \quad (2)$$

Donde:

$CT_{ij}$ , se obtienen multiplicando el tiempo de viaje entre  $i$  y  $j$  por los valores monetarios asociados al tiempo (ver Tabla 2)

$Ckm_{ij}$ , es el resultado de multiplicar los kilómetros del recorrido por los costes de operación.

$P_{ij}$ , son los costes de los peajes asociados a la ruta entre  $i$  y  $j$ .

La relación de la zona consigo misma, también conocida en los análisis de accesibilidad como el autopotencial, es de gran importancia en los modelos de tipo gravitatorio. El autopotencial es particularmente importante en los grandes centros económicos debido a que gran parte de las relaciones se establecen internamente. Para estimar el autopotencial de cada zona se utilizó el método propuesto por Rich (1975), que permite obtener la distancia interna de las zonas de transporte, según la ecuación 3, donde  $D_{ii}$  es un valor de la distancia interna (en km) de cada zona.

$$D_{ii} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{area}{\pi}} \quad (3)$$

A continuación se calculó el tiempo interno de viaje de cada zona a partir de la distancia interna ( $D_{ii}$ ) y de la velocidad media interna. La velocidad media depende del grado de congestión de las carreteras, estimada a través de un ajuste lineal partiendo de la densidad

poblacional, asignando un máximo de 50 km/h a la zona con menor densidad poblacional y un mínimo de 15 km/h a la zona más densamente poblada.

El tiempo interno y la distancia interna de las zonas se transforman en valores económicos multiplicando por los valores asociados al tiempo y a la distancia (tabla 2) y se suman para obtener el coste generalizado de transporte interno de la zona ( $CGT_{ii}$ ).

Considerando estos costes internos, el coste de viaje entre un origen  $i$  y un destino  $j$  ( $C_{ij}$ ) se calcula según:

$$C_{ij} = p_i + CGT_{ij} + p_j \quad (4)$$

Siendo  $p_i$  y  $p_j$  la mitad del  $CGT_{ii}$  de la zona de origen  $i$  y de la zona de destino  $j$ , respectivamente. Estas penalizaciones en origen y en destino equivalen a lo que se conoce como costes de aporte y dispersión.  $CGT_{ij}$  es conocido.

Posteriormente, se comparan los diferentes escenarios de tarificación con el escenario de referencia para obtener su impacto (ver ecuación 5). El resultado de esta comparación representa los cambios de accesibilidad debidos a la introducción de las tarifas.

$$I_i = (A(E1 \dots 4)_i - A(E0)_i) * 100 / A(E0)_i \quad (5)$$

siendo:

$I_i$ , el impacto en la accesibilidad en la zona  $i$ ;

$A(E1 \dots 4)_i$ , el valor de accesibilidad calculado para la zona  $i$  en el escenario con tarificación considerado

$A(E0)_i$ , el valor de accesibilidad calculado para la zona  $i$  en el escenario de referencia

El porcentaje de impacto de cada escenario se representa a través de mapas, donde fácilmente se identifican los principales cambios de accesibilidad y a través de tablas con estadísticas que describen cada uno de los escenarios.

Los efectos de las tarifas en la cohesión territorial se miden analizando la distribución de la accesibilidad en cada escenario. Distribuciones más homogéneas de las accesibilidades serán considerados efectos positivos de las tarifas sobre la cohesión territorial. Para medir esos efectos existe un conjunto de indicadores tradicionalmente utilizados en la bibliografía (ver Condeço et al, en prensa; Lopéz, E. et al., 2008). En este estudio el coeficiente de variación ha sido seleccionado para medir los efectos sobre la cohesión. Este indicador proporciona información acerca del grado de dispersión de los resultados. Valores bajos del coeficiente de variación indicarían una menor disparidad de la accesibilidad y, por lo tanto, una distribución más equitativa y una mayor cohesión territorial.

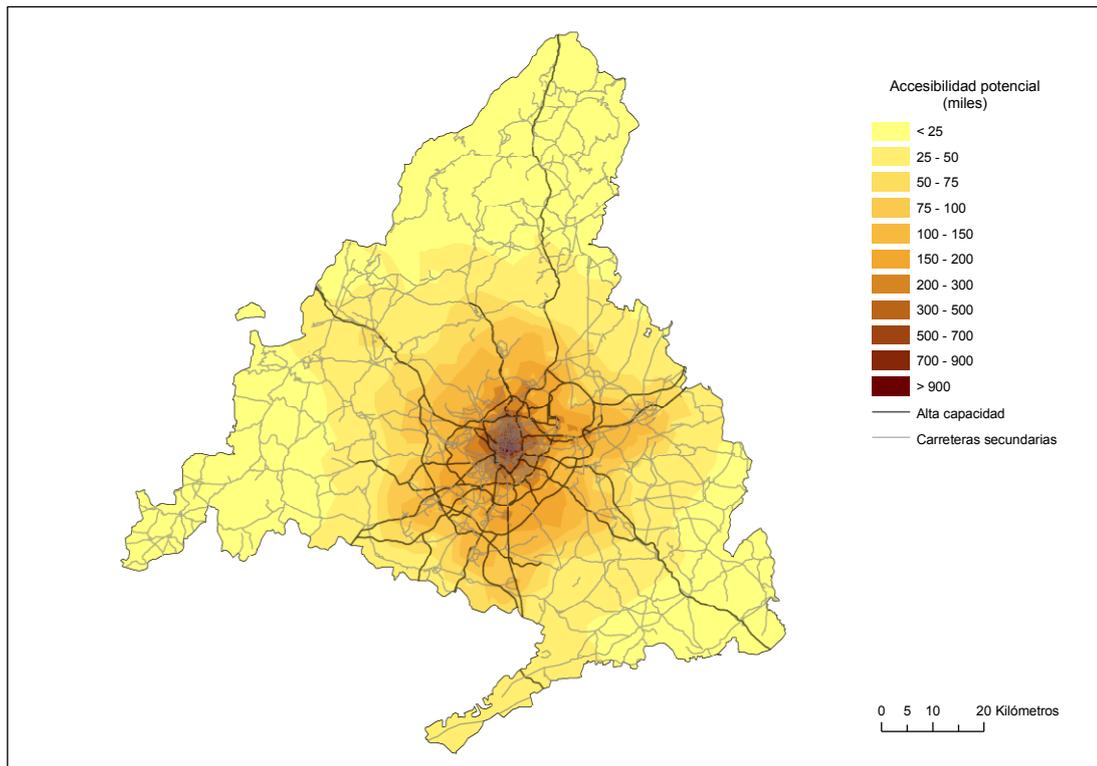
#### 4. Impactos de los diferentes esquemas tarifarios

Dentro de la Comunidad de Madrid, la capital y en particular los distritos centrales son todavía los territorios más accesibles, a pesar de los problemas de congestión que afectan a estos espacios. La figura 2

Figura muestra la situación de accesibilidad de partida. Los valores de mayor accesibilidad se localizan dentro y alrededor de la primera autopista orbital (la M30). Las diferencias espaciales de accesibilidad dependen tanto de las características de la red como de la distribución del empleo en la comunidad. A pesar de los procesos de descentralización de actividades que se están produciendo en el área metropolitana de Madrid, todavía el centro de la capital concentra una gran parte del empleo de la región.

Fuera de la capital, se pueden destacar las concentraciones de empleo en los grandes municipios de los corredores radiales, fundamentalmente en los municipios situados al norte del área metropolitana, como Alcobendas, San Sebastián de los Reyes o Tres Cantos (Carretera de Colmenar); o los localizados en el corredor que conforma la A6, como Pozuelo de Alarcón, Las Rozas y Majadahonda, donde se están localizando muchas de las actividades terciarias que salen de la capital. En los espacios localizados a lo largo del corredor del Henares (eje de la A2) o en los corredores radiales de los grandes municipios del sur metropolitano se concentran un elevado número de empleos, en estos casos más vinculados con las actividades productivas o la logística. Estos municipios están entre los de mayor accesibilidad gracias a la importancia de su empleo, así como a una buena dotación de infraestructuras que les permite acceder fácilmente a otras regiones. Además podemos ver corredores de mejor accesibilidad a lo largo de las autovías radiales.

Figura 2. Accesibilidad potencial al empleo en el escenario de referencia E0

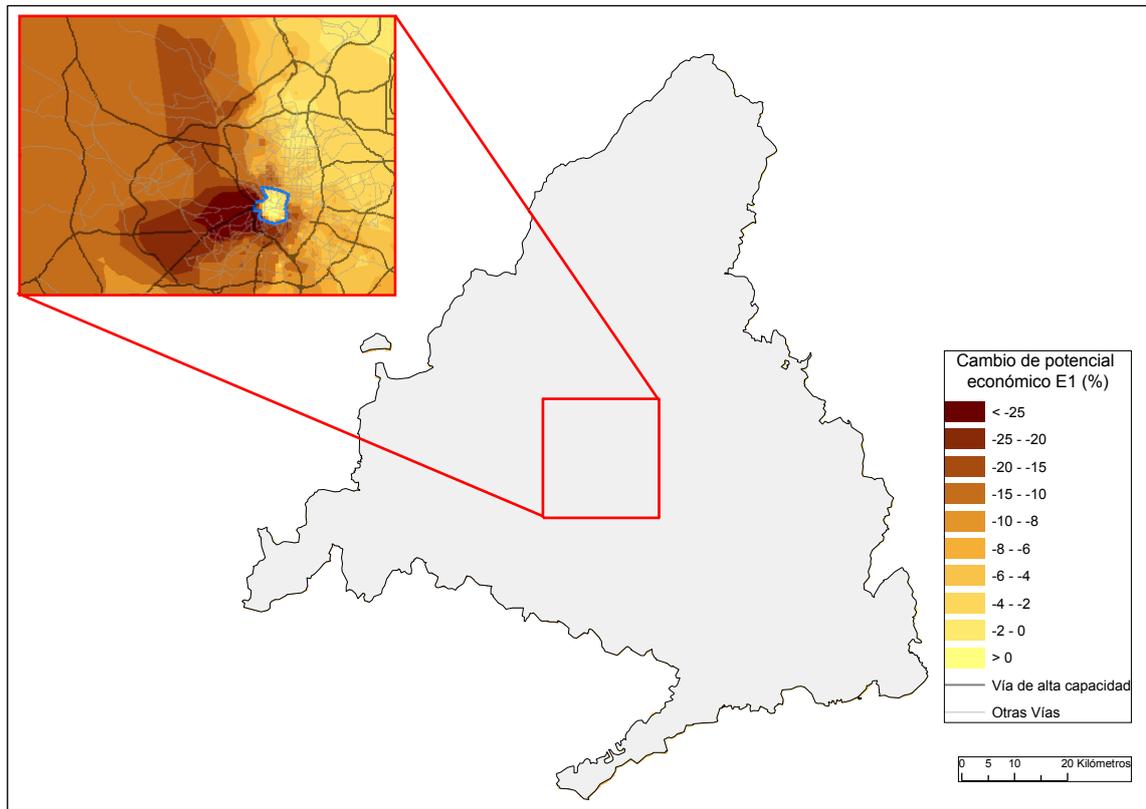


Fuente: Elaboración propia

- *Cambios en la accesibilidad con la tarificación de tipo cordón en el distrito centro (escenario E1)*

La introducción de un peaje tipo cordón en el distrito centro reduce la congestión en este área pero aumenta los tiempos de viajes en las vías que circundan el cordón, sobre todo en las rondas. El aumento de los costes generalizados de transporte que supone esta tarifa reduce la accesibilidad al empleo de las zonas cercanas al cordón (Figura 3), para las cuales el distrito centro es parte importante de su accesibilidad. Los efectos se van reduciendo a medida que nos alejamos del distrito centro debido a la componente gravitatoria del indicador que determina que las relaciones con este distrito pesen menos cuanto más distantes. Además, se observa que los impactos son asimétricos, esto es, los territorios localizados al sur y oeste del área del cordón son más penalizados debido a la menor concentración del empleo en estos territorios. Las zonas a norte y a este del distrito centro, tienen más empleo y son menos dependientes del distrito centro.

Figura 3. Impactos sobre la accesibilidad al empleo de la tarificación en el escenario E1

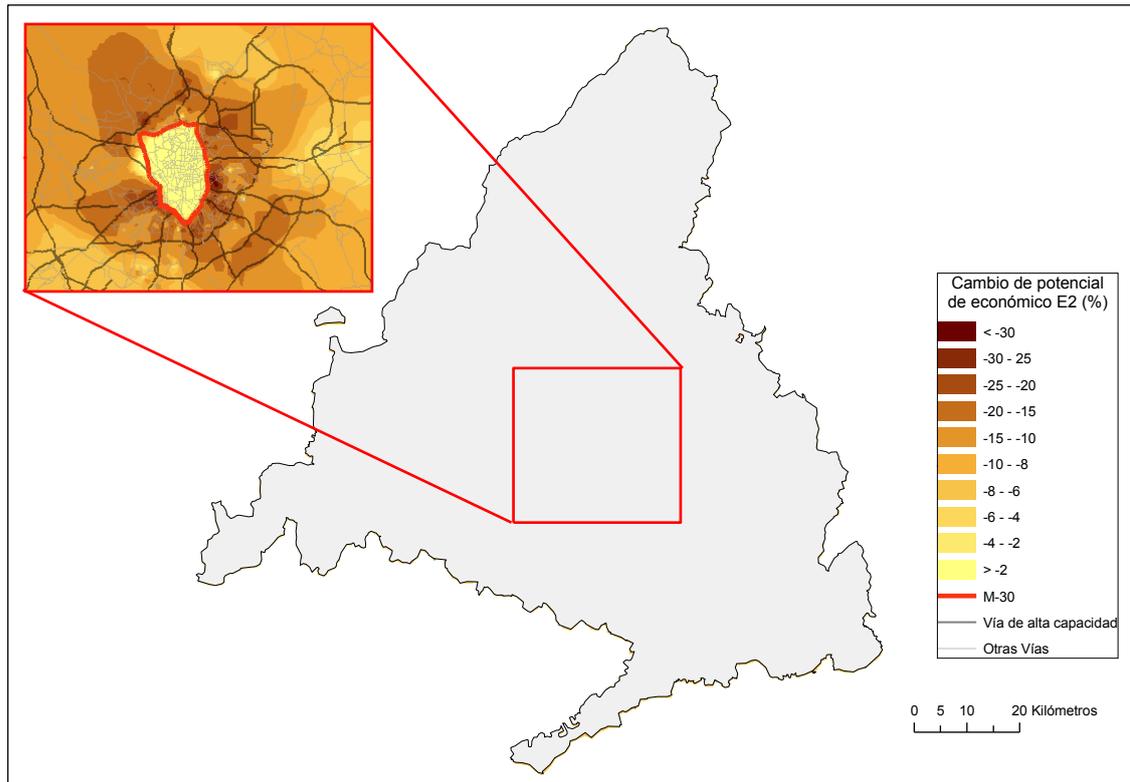


Fuente: Elaboración propia

- *Cambios en la accesibilidad con la tarificación de tipo cordón al interior de la M30 (escenario E2)*

La implementación de un sistema tarifario tipo cordón por entrada al interior de la M30 penaliza sobre todo a los espacios del entorno próximo al cordón (Figura 4), donde una tarifa adicional de 1,5 euros supone agravar significativamente los costes de transporte en los que incurren estas zonas. Los distritos sur del municipio son los más penalizados, perdiendo alrededor de 18 % de su accesibilidad potencial al empleo. Para estas zonas es muy importante la relación con la almendra central, en función de su proximidad espacial, de manera que esos viajes pesan mucho en su potencial económico. Los impactos son mínimos en el interior de la almendra, debido a que los habitantes que viven y trabajan dentro de la M30 están exentos del pago de la tarifa.

Figura 4. Impactos sobre la accesibilidad al empleo de la tarificación en el escenario E2



Fuente: Elaboración propia

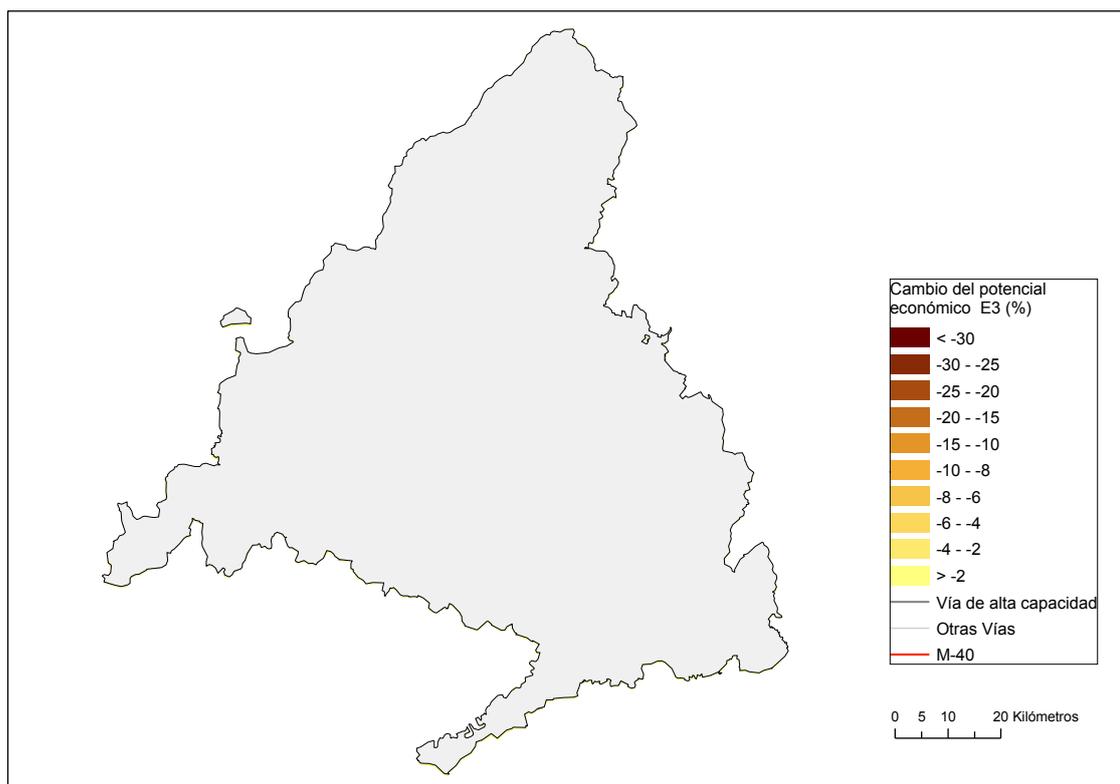
- *Cambios en la accesibilidad por la tarifa mixta en la M40 (escenario E3)*

El escenario E3 representa la introducción de un peaje mixto en la M40, que se compone de una tarifa por entrada a la vía y por kilómetro recorrido. Los efectos sobre la accesibilidad se concentran sobre todo alrededor de la vía penalizada (

Figura 5). De éstos, los efectos más intensos se localizan en el exterior de la M40 entre las conexiones con las vías radiales, espacios para los cuales existen pocas vías alternativas.

Otra particularidad de este escenario es que los efectos negativos se localizan en el exterior de la orbital debido a la mayor concentración de empleo en su interior. Las zonas localizadas dentro de la M-40 siguen accediendo a un número importante de empleos sin ser significativamente afectados por la nueva tarifa.

Figura 5. Impactos sobre la accesibilidad al empleo de la tarificación en el escenario E3



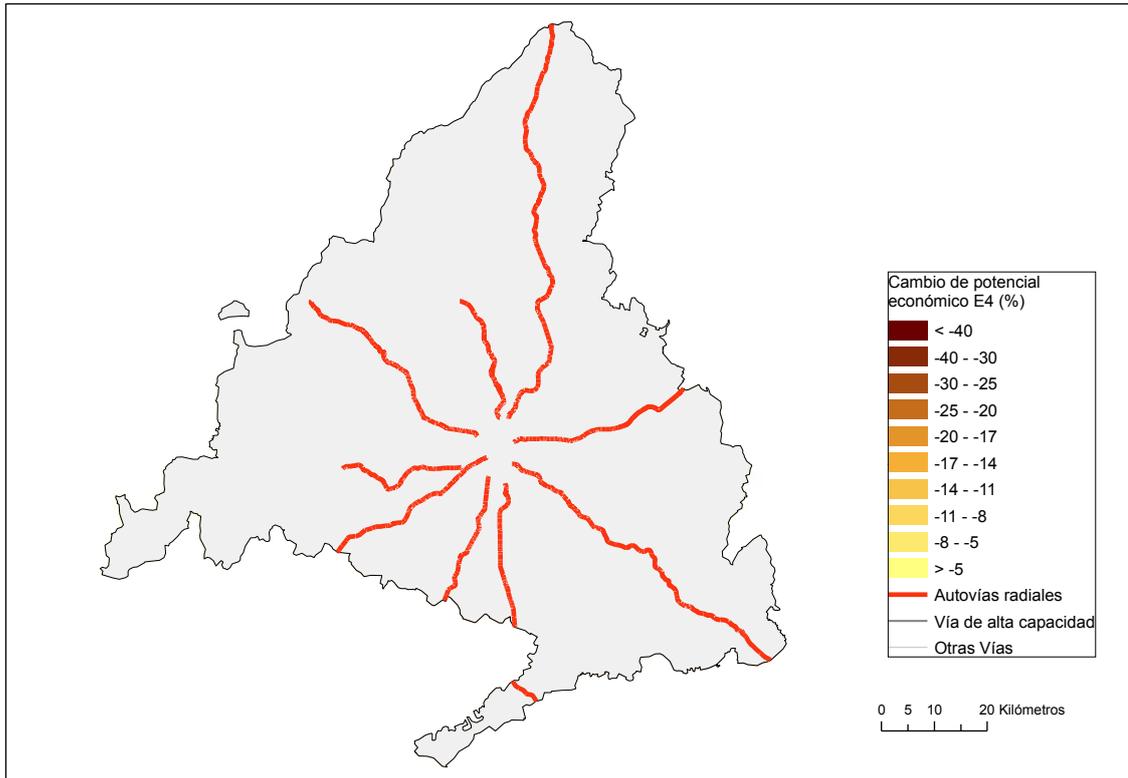
Fuente: Elaboración propia

- *Cambios en la accesibilidad con la tarificación de las vías radiales de alta capacidad (escenario E4)*

La introducción de tarifas kilométricas en las autovías radiales de la Comunidad penaliza, como es lógico, los espacios cercanos a estas vías, de manera que las pérdidas son intensas en estos corredores y en sus márgenes (Figura 6). Este tipo de tarificación perjudica sobre todo las relaciones de larga distancia con la capital. En consecuencia, las zonas localizadas en la periferia de la Comunidad registran las mayores pérdidas de accesibilidad, debido a que incurren en un mayor número de kilómetros para alcanzar las zonas de empleo de la capital o próximas a ella. Las pérdidas son todavía mayores cerca de las autovías radiales con mucho empleo concentrado en su origen, en la capital o en los municipios de borde de la capital. Es el caso por ejemplo de los territorios de la Sierra Norte, localizados alrededor de la A1. Sus habitantes incurren en grandes distancias para acceder a los empleos muy concentrado de la salida de la A1 en Madrid, o el eje contiguo de Alcobendas-San Sebastián de los Reyes, mientras en el resto del corredor el empleo se reduce de manera notable.

Los municipios localizados en los espacios más alejados cerca de las autovías A3, A4 ó A5 registran también pérdidas importantes, mientras que por el contrario el corredor que presenta las menores pérdidas es el corredor de la A6 y los municipios de la zona oeste de la comunidad y en la A2 y municipios del este. Nuevamente, la distribución del empleo y la propia configuración de la red juegan aquí un papel importante. En los municipios cercanos a la A6 y la A2 hay una mayor concentración del empleo, por ello estos municipios pueden seguir accediendo a un número importante de empleos sin que tengan que pagar una tarifa excesivamente alta.

Figura 6. Impactos sobre la accesibilidad al empleo de la tarificación en el escenario E4.



Fuente: Elaboración propia

Analizados los impactos de los diferentes escenarios sobre la accesibilidad es importante conocer cuál es el efecto de estos cambios sobre la cohesión territorial. El análisis de los impactos de las medidas de tarificación sobre la cohesión territorial permite verificar si estas políticas aumentan o disminuyen las diferencias de accesibilidad. Mayores diferencias en los niveles de accesibilidad implican mayores ventajas competitivas unos territorios frente a otros, lo que da lugar a pautas de crecimiento urbano desequilibradas.

El coeficiente de variación es un buen indicador del nivel de disparidades existentes en el área de estudio. Valores elevados del coeficiente indican mayores desigualdades en el reparto de accesibilidad, mientras que valores más bajos suponen niveles de accesibilidad más homogéneos y en consecuencia una mayor cohesión territorial.

En la Tabla 3 se muestran algunas estadísticas descriptivas de los impactos que acabamos de comentar en el apartado anterior. La accesibilidad media de la Comunidad (tercera columna) disminuye en todos los escenarios de tarificación cuando comparamos con el escenario base (E0). Los efectos más negativos se producen en el escenario E2, donde una tarifa de 1,5 euros por entrada a la M30, reduce notablemente la accesibilidad de espacios muy poblados y que tenían además una alta accesibilidad al empleo.

Los resultados del coeficiente de variación (quinta y sexta columnas) reflejan el empeoramiento de la cohesión territorial en todos los escenarios cuando comparados con la situación actual (E0). Los escenarios E1 y E3 son los menos negativos, debido al menor número de municipios afectados y a que sus impactos se localizan en áreas con una buena accesibilidad de partida. En cambio, la tarifa tipo cordón en la M30, registra un incremento de 7,5% en las disparidades de accesibilidad al empleo. En este escenario las zonas con mejor accesibilidad de partida, localizadas en el interior de la M30, son precisamente las menos perjudicadas, mientras que los municipios de la periferia metropolitana acaparan gran parte de los impactos negativos. Asimismo, el escenario E4 registra un aumento del 3% en las disparidades regionales en

términos de accesibilidad debido a que penaliza sobre todo la accesibilidad de las regiones más periféricas de la comunidad.

Tabla 3. Medidas estadísticas que caracterizan los diferentes escenarios

		Media Ponderada <sup>2</sup>	Desviación estándar ponderada	Coefficiente de variación ponderada	Cambio CV (%)
Accesibilidad al empleo	E0	332,9	324,2	97,4	0,0
	E1	322,3	316,0	98,0	0,7
	E2	313,7	328,4	104,7	7,5
	E3	331,1	324,8	98,1	0,7
	E4	323,4	325,4	100,6	3,3

Fuente: Elaboración propia

## 5. Conclusiones

En la bibliografía existen pocos estudios dedicados al análisis de los efectos de la tarificación de carreteras sobre la accesibilidad. Sin embargo, los indicadores de accesibilidad tienen la gran ventaja de reflejar los cambios ocurridos en las infraestructuras, así como los cambios debidos a la redistribución de las actividades económicas. Ambos cambios son susceptibles de ocurrir con la implementación de este tipo de políticas. Los cambios en las infraestructuras ocurren a corto y medio plazo y se relacionan con cambios en los patrones de movilidad de los ciudadanos. La tarificación de ciertas carreteras supone un aumento del coste del viaje y puede desencadenar cambios de rutas, de modo de transporte, etc. A su vez, cambia el grado de congestión de las carreteras, disminuyendo previsiblemente en las carreteras tarifadas y aumentando en las vías alternativas.

En algunos casos el pago de tarifas influirá en los destinos de compras y ocio de los usuarios, lo que puede representar una amenaza para algunos espacios ya consolidados o una oportunidad para otros espacios a los que se pueda acceder sin tener que pagar. A largo plazo los cambios de accesibilidad son susceptibles de modificar los lugares de residencia y trabajo.

Frente a las metodologías econométricas que miden la eficiencia de estas políticas con medidas de bienestar social, los análisis de accesibilidad tienen la ventaja adicional de permitir "territorializar" los efectos de dichas políticas y conocer la localización de los impactos.

Como caso de estudio se seleccionó la Comunidad de Madrid, donde se localiza una de las áreas metropolitanas con más congestión en España. Se han seleccionado 4 sistemas de tarificación de carreteras en medio urbano: un peaje tipo cordón en un área pequeña como es el distrito centro, un peaje tipo cordón en un espacio mayor (el interior de la primera orbital, la M30), un peaje mixto en la segunda orbital (la M40), que es además una de las carreteras más congestionadas de la región y, finalmente un peaje kilométrico en las autovías radiales. A la vez, los tiempos de viaje han sido recalculados según los cambios en los viajes en coche asignados a cada arco como consecuencia de la propia tarificación.

Para medir la accesibilidad se ha utilizado el indicador de accesibilidad potencial al empleo que recoge la proximidad de cada territorio a los principales centros de empleo. Los resultados muestran como la implementación de cualquiera de los esquemas tarifarios supone una disminución de la accesibilidad en la Comunidad de Madrid. Una tarifa tipo cordón, implementada en el distrito centro, tendría efectos muy localizados y perjudicaría sobre todo a las zonas de su entorno. Los efectos serían asimétricos, mayores en las zonas localizadas a sur y a este del distrito centro, debido a que son áreas residenciales que dependen del empleo localizado a norte y oeste del municipio de Madrid. Una tarifa tipo cordón en la M30 tendría un impacto mucho mayor, afectaría en mayor medida a los municipios exteriores a esta orbital y muy especialmente

<sup>2</sup> Para la media ponderada se toma como factor de ponderación la población de cada zona.

a los localizados a sur del cordón, debido al menor peso de su empleo frente a los distritos del norte. La tarificación de una vía orbital más externa como la M40 (escenario E3) supone una disminución de la accesibilidad mayor en las zonas cercanas a esa vía, en especial las localizadas lejos de otras vías de alta capacidad, que sirven de alternativas a sus desplazamientos. Los impactos son mayores en zonas localizadas en el exterior de la M40 debido a que se penalizan las relaciones con las zonas centrales donde se concentra el empleo. Finalmente, una tarifa kilométrica en las autovías radiales penalizará sobre todo los municipios de la periferia de la comunidad y en especial a los situados cerca estas vías. Por su localización, estos son los que incurren en un mayor número de kilómetros, por lo que estarán expuestos a tarifas más elevadas.

Además se ha verificado que todos los escenarios de tarificación incrementan las disparidades regionales de accesibilidad y por lo tanto tienen efectos negativos sobre la cohesión territorial. Los efectos más negativos se registran en los escenarios E2 y E4. Por un lado, el peaje tipo cordón en la M30 (E2) aumenta las diferencias dentro del área metropolitana, entre los distritos centrales y los periféricos del municipio de Madrid, debido a las pérdidas de accesibilidad registradas en los segundos. En el caso de los peajes kilométricos (E4) se agravan las diferencias centro-periferia, debido a que penalizan sobre todo a las zonas de la periferia de la Comunidad de Madrid, reduciendo sus condiciones de accesibilidad.

## Bibliografía

- Ben-Akiva, M., and S. R. Lerman. 1979. Disaggregate travel and mobility choice models and measures of accessibility. In *Behavioural Travel Modelling*, ed. Hensher, D. A. and Sopher, P. R., 654-679
- CCEIM, F. 2009. *Cambio Global España 2020. Programa Transporte*.
- CEC. (1998) 806 final. *Communication from the Commission: Cohesion and Transport*.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. 2001. *White Paper. European Transport Policy for 2010: Time To Decide*. Report Number, COM (2001) 370 final.
- Condeço, A., J. Gutiérrez, and J. C. García-Palomares. Spatial impacts of road pricing: Accessibility, regional spillovers and territorial cohesion. *En prensa*.
- Condeço, A., J. C. Martín, and J. Gutiérrez. Regional spillovers of transport infrastructure investment: An analysis from the point of view of cohesion. *En prensa*.
- Hansen, W. G. 1959. How accessibility shapes land-use. *Journal of American Institute of Planners* 25:73-76.
- Kwan, M. 1998. Space-time and integral measures of individual accessibility: A comparative analysis using a point-based framework. *Geographical Analysis* 30:191-217.
- López, E., J. Gutiérrez, and G. Gómez. 2008. Measuring regional cohesion effects of large-scale transport infrastructure investments: an accessibility approach. *European Planning Studies* 16:277-301.
- Muhammad, S., T. de Jong, and H. F. L. Ottens. 2008. Job accessibility under the influence of information and communication technologies, in the Netherlands. *Journal of Transport Geography* 16:203-216.
- Muraco, W. A. 1972. Intra-urban accessibility. *Economic Geography* 48: 388-405.

Reggiani, A., and Bucci. 2008. Accessibility and network structures: the case of commuting in Germany. *Paper presented at the NECTAR Workshop, Las Palmas.*

Rich, D. 1975. Accessibility and economic activity: a study of locational disadvantage in Scotland. Unpubl. PhD Thesis, Univ. of Cambridge.

Tillema, T. 2008. Road pricing: a transport geographical perspective. Ph.D. dissertation.