

La congestión y sus costes: una modelización aplicable al tráfico viario interurbano

Germà Bel

Departamento Política Econòmica i Estructura Econòmica Mundial.

Profesor ayudante de Política Econòmica

Facultad de CC. Económicas y Empresariales-Universitat de Barcelona

Avd. Diagonal 690. 08034. Barcelona. Tf: 402.19.46

SUMARIO

La introducción del coste temporal aportado por el usuario en la función de costes del transporte confiere un mayor relieve al problema de la congestión en el tráfico viario. En este trabajo revisamos, en primer lugar, las implicaciones más generales de la introducción del coste temporal aportado por el usuario en la función de costes relevantes del transporte. A continuación, se caracteriza el fenómeno de la congestión y los costes que la misma impone, desarrollando un modelo aplicable al tráfico viario interurbano. Por último, se examinan el coste marginal privado y el coste marginal social derivados de la congestión, y se procede a la determinación del exceso de coste social.

Palabras clave: Congestión, transporte terrestre, oferta y demanda de transporte.

ABSTRACT

The problem of congestion in the road traffic has achieved more prominence after introducing user's time costs in the transportation costs function. In this paper we examine first the general consequences of introducing user's time cost in the relevant cost function of transport. Then next, we characterize congestion and its costs, and develop a model applicable to interurban road transit. Finally, we examine the private marginal cost and the social marginal cost, and then we proceed to settle the social cost excess.

Keywords: Congestion, surface transportation, transportation supply and demand.

INTRODUCCIÓN

El proceso de producción de viajes en un sistema de transporte requiere, al menos, dos conjuntos de elementos necesarios: (1) la existencia de una infraestructura técnicamente adecuada que sirva de soporte físico al desplazamiento y (2) el material móvil y los correspondientes recursos humanos para hacerlo operativo. Por tanto, infraestructura, tecnología y recursos humanos son los elementos comunes a la realización de un desplazamiento por cualquier modo. Así entendido, el sistema de transporte es asimilable a la oferta de transporte.

Sin embargo, estos factores de producción necesarios, que configuran a grandes rasgos los costes operativos de la provisión de servicios de transporte, no son suficientes para realizar un desplazamiento. En la literatura académica tradicional sobre los costes de la producción de viajes se consideraban como costes relevantes sólo los operativos. Pero Herbert Mohring (1972:591 y ss), en su ya clásico trabajo sobre economías de escala en el transporte por autobús, propone un cambio de enfoque, introduciendo los costes temporales aportados por los usuarios en la función de costes relevantes del transporte.

La introducción del coste temporal aportado por el usuario en la función de costes del transporte confiere un mayor relieve al problema de la congestión en el tráfico viario. Los problemas derivados de la congestión del tráfico han sido analizados, generalmente, en el ámbito del tráfico urbano. Ciertamente las áreas urbanas han sido pioneras en el conocimiento de los efectos de la congestión, y en ellas es donde la misma se manifiesta de forma más intensa y regular.

Pero la literatura no refleja una gran preocupación de la investigación en economía del transporte sobre la congestión del tráfico en las vías interurbanas. Sin embargo, este fenómeno presenta una gran emergencia también en este tipo de infraestructuras, especialmente en los tramos que sirven de acceso o circunvalación a áreas metropolitanas muy pobladas.

La intensidad con que los problemas de la congestión se extienden a este tipo de vías aparece claramente expuesta en el Informe sometido en 1991 al Congreso de los EE.UU. por el Secretario de Transportes del Gobierno Federal¹. Los datos aportados por el Departamento de Transportes de EE.UU. indican que el ritmo de aumento de la conges-

¹ United States Department of Transportation (1991: 9).

tión en las vías de gran capacidad, en entornos urbanos, es mayor que en el resto de arterias urbanas, continentes tradicionales de la congestión.

En este trabajo revisamos, en primer lugar, las implicaciones más generales de la introducción del coste temporal aportado por el usuario en la función de costes relevantes del transporte. A continuación, se caracteriza el fenómeno de la congestión y los costes que la misma impone, desarrollando un modelo aplicable al tráfico viario interurbano. Por último, se examinan el coste marginal privado y el coste marginal social derivados de la congestión, y se procede a la determinación del exceso de coste social.

1. EL TIEMPO: INPUT APORTADO POR EL USUARIO EN LA PRODUCCIÓN DE VIAJES.

La realización de toda actividad económica requiere, ciertamente, el empleo de más o menos tiempo para ser efectiva, desde la compra en un mercado hasta la visión de una película. Lo que distingue al transporte, y a algunas otras actividades, es que el tiempo empleado en viajar no reporta generalmente utilidad al usuario, sino más bien desutilidad.

El usuario no demanda generalmente los servicios de transporte para viajar, sino para obtener algún beneficio en el lugar de destino del viaje². Para conseguirlo, emplea algún medio de transporte y aporta su propio tiempo al proceso de producción de viajes. En consecuencia, el consumidor de transporte, cuando considere la realización de un desplazamiento o el modo de transporte a emplear para el mismo adoptará, entre otros, el criterio de minimización del tiempo empleado en viajar.

La dualidad en el papel del usuario, por su condición simultánea de consumidor y productor, confiere un carácter peculiar al transporte en el contexto de las actividades económicas. El consumidor, agente que hace uso de los servicios de transporte, desempeña a su vez un papel importante como productor. Por lo tanto, siguiendo a Mohring (1972:591), «la demanda de transporte puede ser tratada como si el precio del viaje fuera igual a la tarifa aplicada más el valor monetario que el viajero atribuye al tiempo requerido por su viaje».

En el trabajo citado más arriba Mohring abre el camino a un cambio metodológico que ha tenido un profundo impacto en el trabajo teórico en economía del transporte:

² Button (1982:4) pone de manifiesto que la existencia de viajes realizados por el placer de viajar, en los que el tiempo empleado reporta utilidad al usuario, es excepcional e irrelevante a efectos analíticos.

introducir el tiempo del viajero (y en su caso de los bienes fletados) en el proceso de producción de viajes.

La sugerencia de este autor, expresada en 1972 como alternativa metodológica - «La demanda de transporte puede ser tratada...» - se ha abierto paso progresivamente como enfoque no sólo alternativo, sino correcto. La necesidad de introducir entre los costes aquellos que asumen los viajeros en forma de tiempo ha sido expresada de forma imperativa en Turvey y Mohring (1975:280): «El enfoque correcto es huir de la noción implícita de que los únicos costes relevantes para la optimización son los del operador del autobús. Los costes temporales de los pasajeros también deben ser incluidos,....».

La adopción de este enfoque metodológico ha venido a completar el análisis en la economía del transporte. Como señala Mohring (1976:15), tomar directamente en consideración el papel productor de los consumidores de transporte puede simplificar en gran manera el análisis de los problemas del transporte. Pero su trascendencia ha ido mucho más allá de las consideraciones estrictamente prácticas. Jansson (1979:269) afirma, de forma un tanto entusiasta, que Mohring y Turvey han localizado con exactitud lo que en anteriores trabajos era erróneo, por lo que su contribución «debería originar un renacimiento del interés de los economistas en este campo».

Además de simplificar el análisis de los problemas del transporte, este proceder evita incurrir en algún que otro error conceptual, como el que manifiesta Golob. A partir de su estudio sobre la influencia de la renta y la posesión de automóvil en la generación modal de viajes, Golob (1989:158) concluye «la demanda de transporte público es un bien económico superior (una función creciente de la renta, controlando por propiedad de automóvil) y la demanda de bicicletas es un bien inferior (una función decreciente de la renta)».

Tal y como está expuesta, la consideración de Golob no es necesariamente verdadera. Un bien es superior (o inferior) si y sólo si, dado su precio relativo, la cantidad consumida aumenta (o disminuye) con aumentos de la renta. Pero cuando este tipo de consideraciones se realizan en el ámbito de la economía del transporte, además del input modo, debe considerarse el input tiempo. Al diferir la valoración del tiempo según el nivel de renta, también difiere el precio económico del transporte (monetario más temporal). Golob no presta atención a esta observación en su análisis. Pero, en tanto en cuanto no se haya observado esta variación del precio, nada se puede decir acerca de la relación entre modo de viaje y renta (de Meza y Osborne, 1980:220).

En suma, la dualidad del usuario, por su condición simultánea de consumidor y productor al mismo tiempo, diferencia al transporte de otras actividades, y exige

la introducción del tiempo del usuario como input en el proceso productivo del transporte hace más correcto y completo el análisis. Por tanto, a los factores de producción descritos inicialmente debemos añadir, al menos, el tiempo que el viajero emplea en realizar la actividad.

2. LA CONGESTIÓN EN EL TRÁFICO VIARIO

La congestión es uno de los tipos de externalidad que la Economía del Bienestar distingue, según el tipo de agentes implicados en su origen. En el contexto de los diferentes tipos de externalidad, Rothenberg (1970:114-115) define la congestión de forma sencilla y directamente aplicable a la actividad transporte: «Si el tráfico viario es el ejemplo clásico de congestión, el hecho distributivo interpersonal es que todos los usuarios están usando el medio (el bien público) en la misma forma, perjudicando la calidad del servicio para el resto y para sí mismo, y el ratio entre su perjuicio y el del resto es el mismo para todos los usuarios...El conjunto de usuarios pierde homogéneamente por su interacción autoimpuesta».

Aunque el término congestión se aplique habitualmente al tráfico viario, es posible su generalización. Mohring (1976:15) sugiere que la congestión puede afectar a aquellas actividades en que: (1) los consumidores aportan alguno o algunos de los inputs variables necesarios para la producción de los bienes o los servicios; y (2) la cantidad requerida del input aportado por el consumidor o la calidad del producto varían en función de la tasa a la que los consumidores lo adquieren.

La congestión de tráfico no es, pues, un elemento exclusivo del tráfico por carretera³. En todos los modos, y en mayor o menor medida, el tiempo de viaje de una unidad de transporte está influido por la tasa a la que acceden otras unidades a la correspondiente infraestructura. Lo que singulariza al transporte por carretera, provocando la especial intensidad de los problemas de congestión, es la elevada descentralización de la oferta de servicio, derivada de la libertad de acceso a la infraestructura. Las situaciones en que se puede hablar de la existencia de congestión en el transporte son de carácter variado. Vickrey (1969:251-252) distingue entre seis tipos de situación en las que ésta aparece:

³ Joy (1989:51-52) analiza la incidencia de los costes de congestión en el conjunto de los costes del ferrocarril. Kerin (1988:190) muestra el impacto de los costes de congestión en las actividades de almacenamiento y operación vinculadas al tráfico de mercancías.

1.- Congestión por interacción simple ('simple interaction'): se produce cuando dos vehículos se aproximan tanto que alguno de ellos debe reducir su velocidad para reducir las probabilidades de colisión, sin que otros vehículos circulen lo suficientemente cerca como para verse afectados por la reducción de velocidad.

2.- Congestión por interacción múltiple ('multiple interaction'): se da a niveles altos de densidad de tráfico, en los que la velocidad media es función del flujo de tráfico.

3.- Congestión por cuello de botella ('bottleneck'): se presenta cuando un tramo de carretera corto tiene menor capacidad de la que pueden absorber tramos de carretera precedentes o subsiguientes. Es, por ejemplo, la congestión que se produce en un tramo corto de carretera convencional que une tramos de una vía de gran capacidad.

4.- Congestión desencadenada a partir de una situación de cuello de botella ('triggerneck'): esta situación se desarrolla a partir de la existencia de un cuello de botella, cuando la cola de vehículos originada por éste interfiere con vehículos que no se dirigían a usar el tramo en el que se produce el cuello de botella.

5.- Congestión en situación de red y control ('network and control'): congestión sobre el tráfico fuera de hora punta que puede ser el resultado de medidas de control aplicadas en la hora punta.

6.- Congestión en situación de densidad general ('general density'): la presencia de una alta densidad de tráfico general en un área provoca un sobrecoste de congestión en todos los modos y rutas, aunque algunos de estos últimos contribuyan relativamente menos que otros al volumen general de tráfico en el área.

Estas diferentes situaciones en las que aparece la congestión pueden coexistir. De hecho, en las grandes áreas metropolitanas se presentan todas simultáneamente en los momentos de hora punta. En otras ocasiones, su presencia puede ser puntual, derivada de especificidades del tráfico viario o de una determinada(s) infraestructura(s).

El fenómeno de la congestión ha sido y es central tanto en la intervención pública en materia de infraestructuras de transporte como en la elaboración académica en economía del transporte. Por lo tanto, es imprescindible aprehender la naturaleza de las situaciones de congestión, así como las externalidades que surgen a raíz de la congestión⁴.

⁴ En la actividad del transporte se manifiestan otras externalidades adicionales a las derivadas singularmente de las situaciones de congestión. Viton (1980: 189-190) ofrece una reseña de las mismas. Pero éstas no forman parte de nuestro objeto de estudio.

3. CARÁCTER DE LOS COSTES DE CONGESTIÓN EN EL TRÁFICO VIARIO INTERURBANO

La descripción del fenómeno de la congestión, como hemos avanzado más arriba, es la siguiente: congestión es la situación en que los usuarios del modo interfieren entre sí, produciéndose una disminución de la velocidad de viaje en el trayecto recorrido.

Las infraestructuras viarias tienen un umbral de capacidad, que denominaremos la capacidad de diseño. La capacidad de diseño de una carretera está relacionada con las especificidades del proyecto ejecutado: gradiente de las curvas, desniveles, accesos y salidas de la infraestructura, etc. Además de estas condiciones, derivadas del diseño y la ejecución del proyecto, pueden influir otros elementos como son las condiciones generales de circulación en la zona (climáticas y otras), o el estado técnico de la infraestructura durante su vida útil.

A la capacidad de diseño de la infraestructura le corresponde un umbral de densidad de tráfico N_D . En presencia de densidades de circulación N que no superen N_D los vehículos no interfieren unos con otros. Dentro de estos volúmenes de circulación, y en condiciones normales de circulación, los usuarios de la infraestructura no condicionan recíprocamente su velocidad⁵.

El fenómeno de la congestión aparece a partir de la existencia de volúmenes de circulación que superan N_D ($N \geq N_{D+1}$). La congestión se puede definir como aquella situación en que los usuarios del modo interfieren entre sí, produciéndose por ello una disminución de la velocidad media de viaje en el trayecto recorrido. En particular, la congestión aparece cuando el usuario $D+1$ de una infraestructura interfiere con el resto de usuarios $i=1, \dots, D$ que están usando dicha infraestructura, imponiendo un coste extra sobre estos últimos.

El aumento de los costes temporales del viaje no es la única externalidad negativa que impone la congestión⁶. Existen otras externalidades como el aumento de las emisio-

⁵ En el diseño ingenieril de una infraestructura viaria es habitual que la capacidad de diseño se determine de tal forma que se asume la existencia de situaciones de cierta congestión en determinados momentos. La razón de este proceder estriba en que el volumen de recursos necesarios para eliminar cualquier posibilidad de congestión por densidad de tráfico es tan elevado que es más eficiente permitir la aparición de congestión en situaciones de tráfico extremo que se produzcan esporádicamente. Por nuestra parte, cuando empleamos el término capacidad de diseño nos referimos a la densidad de tráfico que pueda absorber la infraestructura sin que se produzcan situaciones de congestión.

⁶ Aunque es la única que afecta de forma única, general y homogénea a todos los usuarios (Rothenberg 1970:115).

nes contaminantes, o el aumento de la tasa de siniestralidad (Vickrey, 1969:253). Pero los costes temporales representan una gran proporción de las externalidades negativas de la congestión. Además, el resto de externalidades se mueven en similar dirección al tiempo de viaje (sobrecoste), por lo que éste puede considerarse como elemento representativo.

Para caracterizar el modelo consideraremos un tramo de carretera que discurre entre dos puntos, el punto A y el punto B, entre los que no hay accesos ni salidas⁷. Existe una velocidad máxima de diseño, y un coste del desplazamiento asociado a la velocidad máxima.

A través de A accede a la carretera un número de vehículos (N), a una tasa uniforme por hora. Ello da lugar a una densidad de tráfico, que se puede expresar en términos de N por kilómetro. El tramo A-B tienen una capacidad de diseño (N_D), que indica el volumen máximo de vehículos que pueden circular sin perjuicio de la velocidad máxima de diseño.

Los vehículos acceden a la carretera por A, realizan el trayecto, y abandonan la carretera por B. Siguiendo a Henderson (1977:145), consideramos que las condiciones del viaje actual no están influenciadas por las condiciones anteriores o futuras del tráfico. Estamos, por lo tanto, ante un modelo de período único, en el que la velocidad de trayecto permanece constante a lo largo de todo el viaje. Los vehículos que acceden al punto A en el momento i no interfieren con vehículos que hayan accedido antes a i , o que lo hagan con posterioridad.

En consecuencia, se trata de un tráfico homogéneo, gobernado por la idea de que la velocidad es determinada por la densidad de tráfico. Es susceptible de comprender todas las situaciones de congestión tipificadas por Vickrey (1969:251-252), excepto la situación de interacción simple⁸. Por lo tanto, consideramos que, dada una capacidad de diseño de la infraestructura, la velocidad del viaje de un vehículo que entra en

⁷ Esta caracterización del tráfico viario fue desarrollada por Walters (1961), y seguida generalmente en los trabajos en economía del transporte.

⁸ Este es el enfoque habitual en la literatura, pero algunos autores han cuestionado su validez por no acomodar la situación de interacción simple. Tzedakis (1980:81-ss) propone un enfoque en el que la reducción de la velocidad aparece como causa, y no como consecuencia, de la congestión. En el modelo desarrollado por Tzedakis se trata la velocidad como exógena y la densidad de tráfico es función de la velocidad. Con su modelización, este autor consigue explicar la esencia analítica de la interacción simple. Pero lo hace sacrificando la explicación del resto de situaciones de congestión, por lo que la potencia explicativa perdida es muy superior a la añadida. En suma, si bien es cierto que, como señala Else (1986:103), a la teoría convencional de la congestión viaria se le puede objetar la asunción de tráfico homogéneo, también lo es que ningún intento de superar tal restricción analítica ha sido satisfactorio.

el punto A es función del flujo de vehículos que acceden al trayecto en el mismo momento $V = V(N)^9$.

La producción de desplazamientos entre A y B está asociada a la densidad de tráfico que registre el trayecto. En nuestro modelo, el producto total será el número de vehículos por kilómetro que realizan el desplazamiento. El término usuario se asocia cuantitativamente al de vehículo. Por lo tanto, la producción total de viajes se deriva de la corrección de los desplazamientos producidos por los correspondientes factores de ocupación para vehículos de transporte privado o vehículos de transporte colectivo (notoriamente mayor en estos últimos).

En la función de producción de desplazamientos se ha considerado también el tiempo empleado por el usuario en realizar su viaje. El tiempo, junto al valor que el usuario le atribuya, son los factores que determinan el coste temporal C_T . Este coste no presenta habitualmente una trascendencia monetaria física, por lo que su carácter es sustancialmente diferente del de los costes mecánicos.

En la literatura se acostumbra a considerar el tiempo empleado en realizar el viaje de una forma compleja. En la década de los setenta se emprenden estudios de demanda de alta calidad. En Mohring (1972:593) se distingue entre el tiempo según su empleo en diferentes fases del viaje: (1) el tiempo de llegada al vehículo principal del viaje; (2) el tiempo empleado en el vehículo principal del viaje, y (3) el tiempo de llegada desde éste al lugar concreto de destino. Turvey y Mohring (1975:281) contemplan el coste temporal como compuesto por el tiempo de espera —dependiente de la frecuencia de paso de los vehículos— y por tiempo en el vehículo —que depende de la velocidad media entre paradas (longitud del viaje/velocidad media), el número de paradas y el número de entradas y salidas en el vehículo—. Este planteamiento ha sido el seguido habitualmente en la literatura.

No queda duda de que la distinción entre los tiempos empleados según las fases del viaje y su valoración por el usuario ocupan un lugar central en el análisis económico del transporte. Pero los trabajos citados se ciñen al transporte en áreas urbanas, atendiendo especialmente al transporte en autobús.

Por nuestra parte, hemos caracterizado el desplazamiento como realizado entre dos puntos A y B, entre los que no acceden vehículos a la infraestructura ni la abandonan. En una caracterización de este tipo no se producen paradas a lo largo del trayecto,

⁹ Otros factores como las condiciones generales de circulación o de la infraestructura también condicionan la velocidad. Su influencia viene incorporada en la capacidad de diseño de la infraestructura. En la sección costes de congestión, coste marginal privado y coste marginal social se profundiza en la relación funcional entre velocidad de viaje y volumen de tráfico $V=V(N)$.

ni hay viajeros que accedan o salgan del vehículo entre A y B. Si bien estos supuestos podrían ser discutidos por su carácter restrictivo para el tráfico urbano, no sucede lo mismo en el caso del tráfico interurbano. En un trayecto acotado de un desplazamiento interurbano los vehículos de transporte colectivo no acostumbran a realizar paradas para recoger o distribuir usuarios. Las eventuales paradas tienen otros motivos y se realizan esporádicamente. De hecho, Tardieu (1990:80-ss) considera sólo el tiempo de viaje entre zonas en su análisis del transporte interurbano de viajeros.

Por lo tanto, seguiremos a Harberger (1967:259) y Henderson (1977:145) en la consideración del tiempo de viaje como inversamente proporcional a la velocidad. A su vez, esta especificación es coherente con la consideración de la relación entre tiempo y velocidad, en la parte del viaje entre paradas en Turvey y Mohring (1975:281), o en el tiempo de permanencia en vehículo de Glaister (1984:182).

En nuestra caracterización, el tiempo T efectivamente empleado en recorrer el trayecto mantiene una relación inversa con la velocidad media del viaje V . La especificación concreta de tal relación es: $T=(d/V)$, donde d es la distancia recorrida en el trayecto.

Por lo que se refiere a la valoración del tiempo de permanencia en el vehículo, una nota característica en la mayoría de los trabajos reseñados es su expresión en términos del salario horario. Este planteamiento es coherente con la generalización habitual que se hace del motivo trabajo como causa del viaje, aunque no debe ocultar la diferente valoración que cada individuo hace del tiempo empleado en viajar, en función de su renta individual y del motivo concreto del desplazamiento.

La diversidad de valoraciones estimadas en la literatura para los tiempos de viaje sugiere que el valor del tiempo de viaje puede adoptar, valga la redundancia, un valor cualquiera dentro del rango de números positivos. Este valor es mayor para los viajes por motivo de trabajo que para los viajes no laborales.

El valor del tiempo en un modelo de período único es, en suma, una constante que puede adoptar un valor cualquiera, característica constitutiva de una constante paramétrica, por lo que podemos caracterizar el valor del tiempo como una constante paramétrica. En consecuencia, la especificación del coste temporal es la siguiente:

$$C_T = gT = g(d/V),$$

- donde C_T = Coste temporal
 g = Valoración del tiempo del usuario
 T = Tiempo empleado en el viaje.
 V = Velocidad del viaje.
 d = Distancia recorrida en el viaje.

4. UN MODELO PARA LOS COSTES DE CONGESTIÓN EN EL TRÁFICO VIARIO INTERURBANO

Una vez establecidas las especificaciones anteriores, la correspondiente modelización del problema puede realizarse de la siguiente manera. La función de costes totales (CT) para el conjunto de desplazamientos producidos entre A y B es:

$$CT = d \times (C_M + C_T) \times N, \quad (3,1)$$

con: $CT =$ Coste Total
 $d =$ Distancia en Kms.
 $C_M =$ Coste mecánico/Km.
 $C_T =$ Coste temporal/Km.
 $N =$ Nº. vehículos.

El coste medio (CMe) por vehículo por la realización del viaje entre los puntos A y B es: $CMe = CT/N = d \times (C_M + C_T)$. Cuando un nuevo vehículo accede a la carretera, el coste total de los viajes entre A y B varía, dando lugar al coste marginal:

$$CMg = \frac{\delta CT}{\delta N} = [d \times (C_M + C_T)] + [d \times \frac{\delta(C_M + C_T)}{\delta N} \times N] \quad (3,2)$$

En (3,2) los cambios pueden descomponerse en ambas partes del sumando para evaluar su significado:

$$[d \times (C_M + C_T)] = CMe \quad (3,2,a)$$

$$[d \times \frac{\delta(C_M + C_T)}{\delta N} \times N] \quad (3,2,b)$$

donde,

(3,2,a) es el aumento del coste asumido sólo por el usuario adicional, que coincide con el coste medio.

(3,2,b) es el coste que impone el usuario adicional al conjunto de los usuarios.

Del supuesto de invariabilidad de los costes mecánicos (C_M) con respecto a la densidad del tráfico¹⁰ se sigue que $\delta C_M / \delta N = 0$. Entonces (3,2) se transforma en:

$$\frac{\delta CT}{\delta N} = CMe + [d \times \frac{\delta C_T}{\delta N} \times N] \quad (3,3)$$

(3,3,a)

(3,3,b)

Anteriormente habíamos establecido la siguiente especificación para la función de coste temporal: $C_T = gT = g(d/V)$. En esta especificación, g es una constante paramétrica, T el tiempo efectivamente empleado en realizar el viaje, y d la distancia recorrida, y en consecuencia:

$$\frac{\delta C_T}{\delta N} = \left[- \left(\frac{d}{V^2} \right) \left(\frac{\delta V}{\delta N} \right) \right]$$

Así, en un tramo de un kilómetro ($d=1$)¹¹, el coste impuesto al conjunto de usuarios por el usuario adicional será [rescatando la expresión (3,3,b)]:

$$\left[1 \times \frac{\delta C_T}{\delta N} \times N \right] = \left[- \left(\frac{g}{V^2} \right) \left(\frac{\delta V}{\delta N} \right) \times N \right]$$

y por una simple transformación matemática:

$$\left[- \left(\frac{g}{V^2} \right) \left(\frac{\delta V}{\delta N} \right) \times N \right] = \left(\frac{g}{V} \right) \times \left(\frac{\delta V}{\delta N} \right) \left(\frac{-N}{V} \right) \quad (3,4)$$

Tomando en consideración que $(-N/V)(\delta V/\delta N)$ es precisamente la elasticidad de la velocidad con respecto al volumen de tráfico, (3,4) quedaría formulado como sigue:

$$\boxed{\left(\frac{g}{V} \right) \times (\epsilon_{VN})} \quad (3,5)$$

¹⁰ Este supuesto es coherente con los resultados de los libros «rojos» de la American Association of State Highway Officials (ver Mohring, 1976:16) y los expuestos en Morrison (1986:88)

¹¹ En adelante, por mor de simplicidad, continuaremos el desarrollo para una distancia de un kilómetro. Las expresiones matemáticas son fácilmente generalizables a cualquier distancia recorrida.

Así pues, (3,5) expresa, en términos de elasticidades entre velocidad y volumen de tráfico, el coste que el usuario adicional de la infraestructura viaria impone sobre el conjunto de usuarios. Esta es la esencia de la externalidad negativa que impone la congestión.

El acceso de un usuario adicional a la infraestructura viaria aumenta la densidad de tráfico. Cuando la densidad de tráfico se sitúa por encima de la correspondiente a la capacidad de diseño de la carretera, se reduce la velocidad del conjunto de usuarios. Por ello, aumenta el tiempo de viaje y crecen los costes temporales del desplazamiento para todos y cada uno de los usuarios.

La entrada del usuario adicional provoca la aparición de un coste marginal, que es la suma del coste medio del viaje, asumido estrictamente por el nuevo usuario, y del coste marginal impuesto al conjunto de usuarios, en términos de aumento del tiempo empleado por todos.

Mohring (1972:593) sugirió la posibilidad de que el coste marginal impuesto por los usuarios adicionales sea negativo en el transporte público de viajeros, dada la existencia de economías de escala en el autobús. En este caso, el coste medio se reduciría al incorporarse nuevos usuarios. El aumento de frecuencias de paso de los autobuses disminuiría el tiempo medio de espera de los usuarios. Por ello, los costes de autobús por pasajero, así como la cantidad de tiempo empleada por cada pasajero dentro del autobús permanecería invariable. Pero el tiempo empleado por el pasajero en la espera del autobús sería reducido, de donde Mohring concluye la existencia de economías de escala.

Un gran inconveniente en la construcción de Mohring es el menosprecio de eventuales aumentos de congestión producidos por el aumento de la frecuencia de paso de los autobuses. De producirse mayor congestión, ello redundaría en el aumento del tiempo empleado por los pasajeros dentro del vehículo, lo que vendría a matizar las ganancias en el tiempo de espera.

Además, como se ha explicado anteriormente, nuestro modelo sólo contempla el tiempo de viaje en el vehículo y asocia cuantitativamente el concepto usuario al de vehículo, por lo que no consideramos relevante esta posibilidad, que, por otra parte, no ha sido sugerida ni contrastada para el tráfico interurbano de viajeros.

Por lo tanto, podemos afirmar que, en presencia de congestión, es decir, a partir de un volumen de tráfico N_{D+1} , el acceso de un usuario adicional a la infraestructura provoca la aparición de un coste social que excede el coste privado, asumido por el usuario adicional.

5. COSTES DE CONGESTIÓN, COSTE MARGINAL PRIVADO Y COSTE MARGINAL SOCIAL

En las situaciones de congestión se produce un coste social marginal superior al coste marginal privado, que es el asumido por el usuario adicional. En esta sección vamos a aproximarnos a la relación entre el coste temporal marginal social y el coste temporal marginal privado en situaciones de congestión, con la subsiguiente determinación del exceso de coste social. Previamente, se analiza con cierto detalle la relación funcional entre velocidad y volumen de tráfico, por ser elemento clave para configurar el coste temporal.

5.1. Velocidad de viaje y volumen de tráfico

La relación entre la velocidad del viaje y el volumen de tráfico ha sido muy estudiada en la literatura económica y, sobre todo, en la de ingeniería de infraestructuras viarias¹². Harberger especifica la relación entre velocidad y volumen de tráfico en la forma siguiente: $S = a - bV$, donde S = velocidad y V = volumen de tráfico.

Esta especificación funcional implica que la velocidad es función estrictamente decreciente al volumen de tráfico ($\delta S / \delta V < 0$), y es coherente con la concepción subjetiva que de la congestión muestra Harberger (1967:259) al afirmar que «Todos los estudios realizados sobre la relación entre velocidad media y volumen de tráfico en carreteras específicas han mostrado que a mayor es el volumen de tráfico, menor es la velocidad media. Esta relación negativa es vigente incluso a niveles de tráfico relativamente reducidos, mucho antes de que cualquier cosa que uno pudiera llamar congestión aparezca»¹³.

No podemos estar de acuerdo con Harberger cuando trata la congestión como un fenómeno que existe a partir del momento en que *alguien pueda concebir que exista*. Por el contrario, más arriba hemos caracterizado la congestión como una situación que es susceptible de definición objetiva: congestión es aquella

¹² Por su carácter comprensivo de las relaciones entre velocidad y volumen de tráfico en diferentes tipos de carreteras destacamos el *Highway Capacity Manual*, del Highway Research Board (National Academy of Sciences, Washington D.C., 1966).

¹³ Se trata de *Cost-Benefit Analysis of Transportation Projects*, ponencia de Arnold C. Harberger presentada en «Engineering and the Building of Nations», conferencia celebrada en 1967 en Estes Park, Colorado, EE.UU. La ponencia, con otros trabajos de Harberger, ha sido reimpressa en varias ocasiones en *Project Evaluation. Collected Papers*. (Chicago: The U. of C. Press).

situación en que un usuario adicional interfiere con el resto de usuarios, imponiendo un sobrecoste al viaje de los mismos.

En particular, hemos considerado que la congestión aparece cuando el usuario $D+1$ de una infraestructura de transporte interfiere con el resto de usuarios $i=1, \dots, D$ que la están usando, imponiendo un coste adicional a $1, \dots, D$. En consecuencia, entendemos la congestión como fenómeno caracterizado objetivamente, que aparece a partir de un determinado volumen de tráfico, N_{D+1} . Por debajo de N_{D+1} , en volúmenes de tráfico entre N_1 y N_D , la velocidad no varía con cambios en el volumen de tráfico.

La relación funcional entre velocidad y volumen de tráfico no es estrictamente decreciente. La velocidad es función *no creciente* del volumen de tráfico, y como tal será introducida en nuestra modelización de los costes de congestión¹⁴.

5.2. La especificación lineal de la relación entre velocidad y volumen de tráfico

Para especificar la relación funcional entre velocidad y volumen de tráfico realizaremos algunas modificaciones, a partir de la especificación de Harberger, en la línea de lo anteriormente expuesto:

$$V = a - bN, \quad (5,1)$$

con $V =$ Velocidad

$a =$ Constante, que en coherencia con los supuestos, es idéntica a la velocidad máxima de diseño.

$b =$ Parámetro que adopta los siguientes valores:

$$b=0, \text{ para } N = N_1, \dots, N_D$$

$$b>0, \text{ para } N = N_{D+1}, \dots, N_{max}^{15}$$

$N =$ Volumen tráfico \approx densidad.

¹⁴ Este planteamiento es coherente con el seguido en Henderson (1977:146); «...en el estado regular en el que la densidad es uniforme a través del sistema, la velocidad es una función no creciente de la densidad....». [El subrayado es nuestro]. El término densidad tal como lo define Henderson es el número de vehículos por unidad de distancia en la carretera, por lo que a efectos analíticos es absolutamente equiparable con nuestra N .

¹⁵ El término N_{max} indica el volumen máximo de vehículos que caben físicamente en el trayecto. En N_{max} la velocidad de los vehículos será 0 Km/h y no es físicamente posible el acceso de nuevos vehículos a la carretera (situación de congestión total).

Así especificada la función $V=V(N)$ es una función no creciente tal que $\delta V/\delta N \leq 0$:

$$\frac{\delta V}{\delta N} = 0 \quad \text{para } N = N_1, \dots, N_D$$

$$\frac{\delta V}{\delta N} = -b \quad (<0) \quad \text{para } N = N_{D+1}, \dots, N_{max}$$

Las situaciones que se originan a partir de la ecuación (5,1) son de diferente tipo. Mientras el volumen de tráfico N se mantiene dentro del nivel de la capacidad de diseño de la infraestructura, $N_1 \leq N \leq N_D$, la velocidad no cambia con la entrada de nuevos usuarios. Pero cuando la entrada de un usuario adicional nos lleva a un volumen de tráfico N_{D+1} , por encima de la capacidad de diseño, se produce una disminución de la velocidad a la que circulan todos los usuarios.

En último término, cuando el usuario N_{max} accede a la infraestructura la circulación queda totalmente bloqueada. La situación de congestión es total. En este escenario, la velocidad del viaje cae a 0 Km/h. y es imposible materialmente que un nuevo usuario adicional acceda a la infraestructura hasta un momento posterior en que se haya restaurado un volumen de circulación por debajo de N_{max} .

Finalmente, cabe añadir que, tal y como se ha especificado la relación funcional, $-b$ es la tasa de variación negativa de la velocidad a medida que aumenta el volumen de tráfico a partir del volumen de diseño de la infraestructura N_D . A su vez, la tasa de cambio de la tasa de variación se mantiene constante. No es creciente ni decreciente. Es decir, $\delta^2 V / \delta N^2 = 0$.

5.3. La especificación exponencial de la relación entre la velocidad y el volumen de tráfico

Más arriba hemos especificado $V=V(N)$ como una función lineal de V en N . Pero, a menudo, en la literatura se trata la relación entre velocidad y volumen de tráfico de forma no lineal. El Highway Research Board informa de que múltiples evidencias apoyan la existencia de una relación no lineal entre velocidad y densidad de tráfico a densidades entre 20 y 160 vehículos por milla. Asimismo, Meyer y Gómez-Ibáñez (1981:186) afirman que las evidencias empíricas sobre la relación velocidad/volumen de tráfico sugieren que la velocidad media disminuye lentamente hasta que el

volumen llega a un cierto nivel de capacidad, a partir del cual la velocidad media cae rápidamente.

Estas consideraciones pueden ser expresadas, en términos formales, como la existencia de una tasa de variación de la velocidad que es negativa y decreciente ($\partial V/\partial N^2 < 0$). De aceptar este planteamiento, la ecuación (5,1) debería especificarse de una manera un tanto diferente:

$$V = a - bN^C \quad (5,2)$$

En (5,2) todos los términos estarían definidos como en (5,1), excepto C , del cual sabemos por definición que sería un valor tal que $C > 1$. Pero esta especificación en la relación entre velocidad y volumen de tráfico introduce un grado nada desdeñable de complejidad en el subsiguiente desarrollo formal.

Por otra parte, puede observarse que si se adopta un supuesto menos restrictivo para la segunda derivada, de forma que la tasa de cambio de la variación de velocidad sea no creciente ($\partial^2 V/\partial N^2 \leq 0$), entonces el valor del exponente sería $C \geq 1$. En este marco, la especificación funcional establecida en (5,1) no sería sino un caso particular de la (5,2): aquel en el que $C = 1$.

Por mor de simplicidad y por la escasa pérdida de información que supone proceder así, mantendremos, en primer lugar, la especificación tal y como la establecimos en (5,1) para determinar el exceso de coste social. Adicionalmente, analizaremos las variaciones que comporta la especificación de una función de tipo exponencial en la determinación del exceso social.

5.4. Determinación del exceso de coste social

En 5.2. habíamos establecido la siguiente especificación funcional lineal para la velocidad: $V = a - bN$ (5,1). Siguiendo la metodología de Harberger (1967:259-260), vamos a establecer el exceso de coste marginal social sobre el coste marginal privado.

El coste temporal percibido por los usuarios de un vehículo se ha especificado, para un trayecto de un kilómetro, como $C_T = gT = g/V$. Este es también *el coste temporal marginal privado* ($C_T MgP$) percibido por un usuario tipo:

$$C_T MgP = g/V \quad (5,3)$$

El coste temporal total, absorbido por el conjunto de usuarios de la infraestructura, es $(g/V) \times N$, ó (gN/V) . Por lo tanto, el *coste temporal marginal social* ($C_T MgS$) es:

$$C_T MgS = \frac{\delta(gN/V)}{\delta N} = \frac{gV - gN(\delta V/\delta N)}{V^2} = \frac{g(a-bN) - gN(-b)}{V^2} = \frac{ga}{V^2} \quad (5,4)$$

La ecuación (5,4) expresa el coste marginal social, que puede exceder al coste marginal privado (5,3)¹⁶. El alcance del exceso del coste marginal social, es decir, aquella parte que el usuario adicional $N \geq N_{D+1}$ no percibe, viene expresado por:

$$\text{Exceso } C_T MgS = \frac{ga}{V^2} - \frac{g}{V} = \frac{g(a-V)}{V^2}$$

$\text{Exceso } C_T MgS = \frac{g(a-V)}{V^2} = \frac{gbN}{V^2}$

(5,5)

La interpretación que se desprende a partir del resultado del exceso de coste temporal marginal social (5,5) es diáfana. El usuario adicional provoca ciertos costes temporales, parte de los cuales asume sólo él. Se trata del coste marginal privado.

Contemplemos, primero, la situación en que el usuario adicional lleva el volumen de vehículos a algún nivel entre N_i y N_D , siendo N_D el que corresponde a la capacidad de diseño de la infraestructura. En tal caso, el parámetro b es tal que $b=0$ (que implica $V=a$). El coste temporal marginal privado coincide con el coste temporal marginal social ($C_T MgP=C_T MgS$), y no existe exceso de coste social.

Pero si el usuario adicional eleva el volumen de tráfico por encima del nivel N_D , situándolo en algún punto del intervalo $N_{D+1} \leq N \leq N_{max}$, el parámetro b adopta algún valor tal que $b>0$ (con la implicación consiguiente de $V<a$). En este caso, el coste temporal marginal social originado por el usuario excede al coste temporal marginal privado, absorbido por él. La dimensión del exceso de coste social viene dada por el

¹⁶ Small (1992:482-483) y Arnot et. al (1993:164-166) advierten que el análisis *ceteris paribus* del efecto del usuario adicional, sin considerar la posibilidad de reajuste de los horarios de viaje del resto de viajeros, puede llevar a sobreestimar el coste social provocado por el usuario adicional. Pero este supuesto sólo es plausible en la congestión en hora punta y en situación de cuello de botella ('bottleneck'), en el medio plazo, y supuesta la información perfecta del conjunto de usuarios. Además, la llegada a una situación de equilibrio requeriría la información completa de los usuarios sobre el comportamiento futuro de cada uno de ellos. Por lo tanto, no afecta cualitativamente al desarrollo del modelo.

cociente (5,5), en el que se multiplican la valoración del tiempo realizada por el usuario tipo, g , y el efecto temporal de la pérdida de velocidad experimentada bN/V^2 . [teniendo en cuenta que $bN=a-V$]¹⁷.

La especificación exponencial de la relación entre velocidad y volumen de tráfico no altera esencialmente la determinación del coste social. Por lo tanto, mantiene plena vigencia la definición del *coste temporal marginal privado* ($C_T MgP$) que habíamos realizado más arriba: $C_T MgP = g/V$.

La adopción de la especificación funcional $V = a - bN^C$ (5,2) nos obliga a reformular el *coste temporal marginal social* ($C_T MgS$):

$$C_T MgS = \frac{\delta gN/V}{\delta N} = \frac{gV - gN(-cbN^{C-1})}{V^2} = \frac{gV + gc(a-V)}{V^2} = \frac{g[V + c(a-V)]}{V^2} \quad (5,4 \text{ bis})^{18}$$

La ecuación (5,4 bis) expresa el coste temporal marginal social, que puede exceder al coste temporal marginal privado (5,3). El alcance del exceso del coste marginal social, viene expresado por:

$$\text{Exceso } C_T MgS = \frac{g[V + c(a-V)]}{V^2} - \frac{g}{V} = \frac{g[V + c(a-V) - V]}{V^2} = \frac{gc(a-V)}{V^2}$$

$$\text{Exceso } C_T MgS = \frac{gc(a-V)}{V^2} = \frac{gcbN^C}{V^2} \quad (5,5 \text{ Bis})$$

La especificación exponencial de la relación entre velocidad y volumen de tráfico sólo provoca una variación en la determinación del exceso de coste marginal social,

¹⁷ Harberger concede especial utilidad a la expresión del «porcentaje de déficit de velocidad», porcentaje en que el coste marginal social excede al coste marginal privado. En nuestra formulación, el porcentaje de exceso del coste marginal social sobre el privado viene definido en la forma:

$$\frac{C_i MgS - C_i MgP}{C_i MgP} = \frac{ga/V^2 - g/V}{g/V} = \frac{a-V}{V}$$

¹⁸ Para el desarrollo matemático se tiene en cuenta que: $\delta V/\delta N = -cbN^{C-1}$, y $bN^C = a-V$. Por lo tanto: $gN \times (\delta V/\delta N) = -gcbNN^{C-1} = -gcbN^C = -gc(a-V)$.

desde el punto de vista analítico. El coste marginal social y el exceso de coste marginal social se multiplican por c , exponente que determina la tasa de cambio de la variación de la velocidad.

Esta constatación demuestra que, como habíamos hipotetizado más arriba, la especificación funcional establecida en (5,1) no es sino un caso particular de la (5,2) (aquel en el que $C=1$). Este caso se derivaría de adoptar un supuesto menos restrictivo para la segunda derivada, de manera que la tasa de cambio de la variación de velocidad sea no creciente ($\partial^2 V / \partial N^2 \leq 0$), por lo que el valor del exponente sería $C \geq 1$.

En conclusión, si el usuario adicional eleva el volumen de tráfico por encima del nivel N_D , situándolo en algún punto del intervalo $N_{D+1} \leq N \leq N_{max}$, el parámetro b adopta algún valor tal que $b > 0$ (con la implicación consiguiente de $V < a$). En este caso, el coste temporal marginal social originado por el usuario excede al coste temporal marginal privado, absorbido por él.

La dimensión del exceso de coste social viene dada por el cociente (5,5) [ó (5,5 bis)], en el que se multiplican la valoración del tiempo realizada por el usuario tipo (g) y el efecto temporal de la pérdida de velocidad experimentada bN/V^2 (ó cbN^C/V^2).

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha observado la mayor corrección que se deriva de analizar los problemas de la economía del transporte incorporando el tiempo aportado por el usuario al realizar su desplazamiento en la función de costes relevantes del transporte. Este enfoque metodológico confiere mayor relevancia al problema de la congestión en el transporte.

Por otra parte, se ha desarrollado un modelo de los costes de congestión en el tráfico viario susceptible de aplicación a los desplazamientos interurbanos. Modelización que se ha mostrado efectiva para la evaluación del coste marginal privado y el coste marginal social derivados de la congestión, y para la determinación del exceso de coste social.

BIBLIOGRAFÍA

- ARNOT, R., A. DE PALMA y R. LINSEY (1993): «A Structural Model of Peak-Period Congestion: A Traffic Bottleneck with Elastic Demand», *American Economic Review*, vol. 83, págs. 161-179.
- BECKER, G. (1965): «A Theory of the Allocation of Time», *Economic Journal*, vol. 75, págs. 493-517.
- BEESELEY, M.E. (1965): «The Value of Time Spent in Travelling: Some New Evidence», *Economica*, vol. 32, págs. 174-185.
- BERECHMAN, J. y G. GIULIANO (1985): «Economies of scale in bus transit: a review of concepts and evidence», *Transportation*, vol. 12, págs. 313-332.
- BERTRAND, T.J. (1978): «Congestion Costs in a Transport System. With an Application to Bangkok», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol.12, págs. 244-279.
- BUTTON, J.K. (1982): *Transport Economics*. Heinemann Educational Books Limited (3.ª edición 1986: Gower Publishing Co.).
- EARL, J.H., R.D. HALL, y M. MCDONALD (1976): «Modal Choice Behaviour and the Value of Travel Time: Recent Empirical Evidence», en I. G. Heggie ed. *Modal Choice and the Value of Travel Time*. Oxford: Clarendon Press.
- ELSE, P.K. (1986): «No entry for congestion taxes?», *Transportation Research*, vol. 20 A, págs. 99-107.
- GLAISTER, S. (1984): «The Allocation of Urban Public Transport Subsidy», en J. Le Grand y R. Robinson eds. *Privatisation and the Welfare State*. London: George Allen & Unwin.
- GOLOB, T.F. (1989): «The Casual Influence of Income and Car Ownership on Trip Generation by Mode», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 23, págs. 141-162.
- GOODWIN, P.B. (1992): «A Review of New Demand Elasticities with Special Reference to Short and Long Run Effects of Price Changes», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 26, págs. 155-169.
- GREY, A. (1978): «The generalised cost dilemma», *Transportation*, vol.7, págs. 261-280
- GRUEN, A.C. (1980): «Travel Time and Transportation Policy», *Journal of Urban Economics*, vol. 8, págs. 264-271.
- HARBERGER, A.C. (1967): *Project Evaluation. Collected Papers*. Chicago: The University of Chicago Press. (Colección Midway Reprints. Reimpresión de 1986).
- HENDERSON, V. (1977): *Economic Theory and the Cities*. New York: Academic Press, Inc.

- HOLDEN, D.J. (1989): «Wardrop's Third principle: Urban Traffic Congestion and Traffic Policy», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 23, págs. 239-262.
- JANSSON, J.O. (1979): «Marginal Cost Pricing of Scheduled Transport Services. A Development and Generalisation of Turvey and Mohring's Theory of Optimal Bus Fares», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 10, págs. 268-317.
- JOY, S. (1988): «Railway Costs and Planning», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 23, págs. 45-54.
- KERIN, P.D. (1988): «Implications of Sunk, Congestion and Seasonal Opening Costs», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 22, págs. 175-196.
- MEYER, J.R. y J.A. GÓMEZ-IBÁÑEZ (1981): *Autos, Transit and Cities*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- MEZA, D. DE y M. OSBORNE (1980): *Problems in Price Theory*. Chicago: The University of Chicago Press.
- MISHAN, E.J. (1971): «The Postwar Literature on Externalities», *Journal of Economic Literature*, vol. 9, págs. 1-28.
- MOHRING, H. (1970): «The Peak Load Problem with Increasing Returns and Pricing Constraints», *American Economic Review*, vol. 60, págs. 693-705.
- MOHRING, H. (1972): «Optimization and Scale economics in Urban Bus Transportation», *American Economic Review*, vol. 62, págs. 591-604.
- MOHRING, H. (1976): *Transportation Economics*. Cambridge, Massachussets: Ballinger Publishing Company.
- MOHRING, H. y H. WILLIAMSON (1969): «Scale and 'Industrial Reorganisation' Economies of Transport Improvements», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 3, págs. 251-271.
- MORRISON, S.A. (1986): «A survey of road pricing», *Transportation Research*, vol. 20 A, págs. 87-97.
- ROTHENBERG, J. (1970): «The Economics of Congestion and Pollution: An Integrated View», *American Economic Review (Papers and Proceedings)*, vol. 60, págs. 114-121.
- SMALL, K. (1992): «Trip Scheduling in Urban Transportation Analysis», *American Economic Review (Papers and Proceeding)*, vol. 82, págs. 482-486.
- TARDIEU, P. (1990): «Sistemas de información y simulación de transporte. Metodología y aplicaciones en el contexto europeo», en *Ultimas Tendencias en el Estudio de la Demanda de Transporte de Mercancías*. Madrid: MTTC.

- TRUONG, T.P. y D.A. HENSHER (1985): «Measurement of Travel Time Values and Opportunity Cost from a Discrete-Choice Model», *Economic Journal*, vol. 95, págs. 438-451.
- TURVEY, R. (1975): «A Simple Analysis of Optimal Fares on Scheduled Transport Services», *Economic Journal*, vol. 85, págs. 1-9.
- TURVEY, R. y H. MOHRING (1975): «Optimal Bus Fares», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 9, págs. 281-286
- TZEDAKIS, A. (1980): «Different Vehicle Speeds and Congestion Costs», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 14, págs. 81-103.
- U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (1991): *Public Transportation in the United States. Performance and Condition. The Secretary of Transportation's report to the United States Congress*. Washington D.C.: United States Department of Transportation.
- VICKREY, W. (1969): «Congestion Theory and Transport Investment», *American Economic Review (Papers and Proceedings)*, vol. 59, págs. 251-260.
- VITON P.A. (1980): «Equilibrium Short-Run-Marginal-Cost Pricing of a Transport Facility», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 14, págs. 185-203.
- WALTERS, A.A. (1961): «The Theory and Measurement of Private and Social Costs of Highway Congestion», *Econometrica*, vol. 29, págs. 676-699.
- WINSTON, C. (1985): «Conceptual Developments in the Economics of Transportation: An Interpretative Survey», *Journal of Economic Literature*, vol. 23, págs. 57-94.