

LA DEMANDA DE TRANSPORTE URBANO: UN ANÁLISIS DE LAS ELASTICIDADES Y VALORACIONES DEL TIEMPO

Ana MATAS*

Universidad Autónoma de Barcelona

El presente artículo tiene por objeto evaluar cuales son los principales determinantes de la demanda de transporte urbano. Para ello se estima una función de demanda de acuerdo con un modelo Probit con dos alternativas de transporte: público y privado. La estimación de dicho modelo nos permite calcular las elasticidades de la demanda respecto a los principales factores que la determinan: el precio y el tiempo dividido en distintas categorías. Asimismo, se presenta una estimación del valor del tiempo. Del estudio se derivan conclusiones relevantes para la política de transporte urbano.

1. Introducción

El objetivo de este estudio es un análisis empírico de los determinantes de la demanda de transporte urbano. Para ello se estima una función de demanda de tipo probabilístico en el que el individuo se enfrenta a dos alternativas de transporte: público y privado. Estos modelos se obtienen como resultado de la maximización de la utilidad individual que depende de los atributos de los medios de transporte y de las características socioeconómicas del individuo. Ello nos permite cuantificar las respuestas de los usuarios a cambios en las características de los medios de transporte considerados. Concretamente, se calculan las elasticidades de la demanda respecto a los principales factores asociados a la elección del medio de transporte: el precio y el tiempo de viaje definido en distintas categorías. Adicionalmente, este planteamiento permite estimar el valor que los individuos otorgan al tiempo de viaje. Del estudio se derivan conclusiones relevantes para la política de transporte urbano.

El análisis se limita a los viajes al lugar de trabajo en el contexto de la elección modal. Es decir, el número total de viajes se supone fijo y el individuo sólo se plantea la decisión de cuál es el medio de transporte que maximiza su nivel de satisfacción. Este supuesto es aceptable en los viajes por motivo de trabajo. A corto plazo, no debemos esperar que una mejora en los medios de transporte aumente el número total de viajes o cambie su origen o destino. Sin embargo, debemos notar que las elasticidades, o cualquier otra predicción

* Este trabajo se fundamenta en el capítulo cuarto de mi Tesis Doctoral titulada: *El transporte urbano: análisis de la eficiencia y factores condicionantes de la demanda*. Dirigida por el Dr. J. L. Raymond. Universitat Autònoma de Barcelona, 1990. La investigación ha sido financiada por la Fundación FIES. Quiero agradecer las observaciones efectuadas por el evaluador anónimo de las cuales este artículo se ha beneficiado.

agregada, corresponden a valores para la elección entre medios de transporte y no a los globales. El estudio se lleva a cabo en el área metropolitana de Barcelona.

La estructura del trabajo es la siguiente. En el segundo apartado se recogen los aspectos teóricos de los modelos de elección discreta. El tercer apartado se introduce con una breve referencia a los datos para presentar los modelos estimados y comentar los resultados. A continuación —apartado 4— se profundiza en las aportaciones de interés para la política de transporte a través del cálculo de las elasticidades y del valor del tiempo. Las conclusiones derivadas del análisis empírico cierran el estudio. La descripción de la muestra y de las variables explicativas utilizadas se halla en el apéndice.

2. Metodología: modelos de elección discreta y la estimación de la demanda de transporte

2.1. Planteamiento del modelo

Los modelos de respuesta cualitativa o de elección discreta nos ofrecen un marco analítico adecuado para estudiar el comportamiento individual cuando se enfrenta a decisiones discretas como la elección del medio de transporte. La posibilidad de trabajar con datos individuales —y no agregados como ocurre en el resto de funciones de demanda— evita una pérdida de información y permite estimar de forma más eficiente y sin sesgo las valoraciones de los cambios en la oferta de transporte¹.

A inicios de la década de los 70 McFadden desarrolló una teoría de la utilidad aleatoria que le permitió derivar un modelo de elección discreta para la demanda de transporte². McFadden (1981) generaliza el resultado a cualquier decisión discreta y enuncia las condiciones suficientes para que este tipo de modelos sean consistentes con la maximización de la utilidad estocástica³. A continuación se expone brevemente el modelo econométrico utilizado que se fundamenta en el desarrollo planteado por McFadden (1981).

El problema de maximización original define la utilidad aleatoria de un individuo derivada del consumo de un bien compuesto, x , y la elección de una alternativa discreta, i , que viene caracterizada por un vector de atributos w , sujeto a una restricción presupuestaria:

¹Para una comparación de los modelos agregados y los modelos de elección discreta véase Domencich y McFadden (1975).

²Las primeras exposiciones de los trabajos de McFadden respecto a la utilización de los modelos de elección discreta en el contexto de la maximización de la utilidad individual se hallan en McFadden (1973), McFadden (1974) y Domencich y McFadden (1975).

³La formulación de los modelos de elección discreta no se deriva necesariamente de la maximización de la utilidad individual. Para una formulación más general ver Ame-miya (1981).

$$\begin{aligned} & \text{Max } U(x, w, i, u) \\ & \text{s. a. } rx + c_i \leq y \\ & i \in B \quad \text{dónde:} \end{aligned}$$

B es el conjunto de alternativas factibles

r es el precio del bien x

c_i es el coste de la alternativa i

y es el nivel de renta

u es el término estocástico

El término aleatorio que transforma la función de utilidad en estocástica puede interpretarse —sin pérdida de generalidad y siguiendo a McFadden— como el efecto de las características o los gustos no medibles del individuo. Así se permite que dos individuos con características observadas idénticas, no tengan por qué tomar las mismas decisiones de elección de medio de transporte. A partir de la anterior maximización respecto a x y a i obtenemos la función indirecta de utilidad:

$$V_i(w_i, c_i, y, u_i) = \text{Max}_i (\text{Max}_x U(x, w, i, u) / rx + c_i \leq y)$$

La consistencia entre el modelo de elección discreta y la maximización de la utilidad aleatoria requiere que esta función sea aditiva separable en la renta, el término estocástico y el resto de variables. La función indirecta de utilidad para la alternativa i debe escribirse de la siguiente forma:

$$V_i = V_{i1}(y) + V_{i2}(w_i, c_i, s) + u_i$$

dónde s es el vector de características socioeconómicas del individuo.

A partir de aquí se define un sistema de elección probabilístico que describe la distribución de la demanda observable que es consistente con la hipótesis de maximización de las preferencias aleatorias. Sea P_i la probabilidad de elección de la alternativa i que cumple:

$$P_i = P(V_i + u_i \geq V_k + u_k; k \in B) = P(u_k - u_i \leq V_i - V_k; k \in B)$$

P_i puede interpretarse como la probabilidad que la alternativa i maximice la utilidad de un determinado individuo. Especificando una función de distribución conjunta para $(u_k - u_i)$ obtendremos la probabilidad de elección condicionada al nivel de precios, a los atributos de los medios de transporte y a las características del consumidor.

A efectos de estimación es frecuente en todos los análisis de elección discreta aproximar la función de utilidad indirecta mediante una relación lineal en los parámetros. En el caso binario con alternativas de transporte 1 y 2, se expresa:

$$\begin{aligned} V_{i1} &= X_i \beta_1 + Z_{i1} \alpha + u_{i1} \\ V_{i2} &= X_i \beta_2 + Z_{i2} \alpha + u_{i2} \end{aligned}$$

donde X_i son las variables que corresponden a características individuales y Z_{ij}

son aquellas que toman distintos valores según cual sea la alternativa considerada.

El individuo escoge la alternativa 1 ($Y_i = 1$) si $U_{i1} > U_{i2}$ es decir,

$$\begin{aligned} Y_i &= 1 && \text{si } X_i' \beta + (Z_{i1} - Z_{i2})' \alpha + u_i > 0 \\ Y_i &= 0 && \text{en caso contrario} \\ &&& \text{en donde } \beta = (\beta_1 - \beta_2) \text{ y } u_i = (u_{i1} - u_{i2}) \end{aligned}$$

De acuerdo con este planteamiento la elección de una determinada alternativa respecto a las variables asociadas a cada una de ellas (Z_{ij}) no depende de sus valores absolutos sino de su diferencia.

Por otro lado, es preciso especificar la función de probabilidad del modelo. En nuestro caso hemos elegido el Probit binomial que se deriva del supuesto que la parte estocástica de la función de utilidad u_i se distribuye según una normal. La probabilidad de elegir la alternativa 1 viene dada por:

$$P(Y_i = 1) = \Phi(X^* \Gamma)$$

dónde Φ es el valor de la función de distribución de una normal (0,1).

Γ es el valor estandarizado de los coeficientes a estimar que incluye los coeficientes β y α .

X^* es la matriz de variables explicativas, incorpora tanto los atributos de los medios de transporte como las características socioeconómicas de cada individuo.

Un resultado importante del modelo derivado por McFadden es que la probabilidad de elección estimada es independiente de la renta. Sin embargo, es conocido que el nivel de ingresos influye en la elección del medio de transporte. La forma de introducir esta variable y su interpretación es relevante para calcular posteriormente y de forma consistente las respuestas de los individuos a cambios en el precio de las alternativas o para conocer el valor del tiempo⁴.

Como señala el propio MacFadden los gustos pueden depender de características individuales que están correlacionadas con la renta actual tales como los salarios, el nivel de renta o la ocupación. En este caso estas variables entrarían en la ecuación y —según el mismo autor— la renta puede interpretarse como una variable proxy de unos gustos no observables que afectan la elección⁵.

La revisión de distintos estudios cuyo objetivo era incorporar la renta de

⁴ Ello se debe a que el papel que juega la renta es determinante para calcular su utilidad marginal que a su vez interviene en el cálculo del valor económico de bienes que no poseen mercado y del excedente del consumidor utilizado para evaluar cambios en el bienestar.

⁵ Ver McFadden (1981), págs. 210 y siguientes.

forma consistente en el modelo⁶ nos permitió observar que no existe una relación clara y ampliamente aceptada entre la renta y el nivel de utilidad a nivel formal si es preciso garantizar la consistencia entre la función de demanda estimada y los postulados de la teoría económica. El papel de la renta en la ecuación debe entenderse como una proxy de las preferencias individuales.

Nuestra opción fue captar el efecto de la renta a partir de una relación funcional simplificada consistente en segmentar la muestra⁷. Es decir, dividimos el conjunto de observaciones en varias submuestras según su nivel de renta, de forma que los coeficientes a estimar toman distintos valores según a la categoría a la que pertenece cada individuo. El modelo se estima bajo la hipótesis que la utilidad marginal de la renta es constante para cada grupo homogéneo. Este enfoque introduce un cierto grado de arbitrariedad para establecer las submuestras. Atendiendo a las características y tamaño de la muestra la segmentación afecta sólo a dos variables: el tiempo de viaje y el precio. Bajo la hipótesis de utilidad marginal de la renta decreciente deberíamos esperar que los coeficientes estimados para el coste disminuyeran a medida que aumenta la renta. Por otro lado, la valoración del tiempo puede crecer con el nivel de ingresos.

No obstante, la valoración de la renta individual presentó muchas dificultades. Dado que ninguna de las aproximaciones a esta variable resultó plenamente satisfactoria, la sustituimos por el tipo de actividad realizado por cada individuo. La clasificación más adecuada resultó ser: personal no cualificado, cualificado y cualificación superior. Así, pues, el nivel de cualificación actúa como variable proxy de las preferencias individuales.

2.2. Valor del tiempo de viaje

La formulación de la ecuación de demanda basada en una función de utilidad nos permite evaluar en términos económicos algunas características de los medios de transporte —como el tiempo de viaje o de espera— que no disponen de un mercado en el que observar su precio. El output de estas estimaciones no sólo se utiliza para predecir el resultado de políticas de transporte sino también como un dato en el análisis coste-beneficio.

A partir de la formulación inicial de De Serpa (1971), que introduce el tiempo como argumento en la función de utilidad, se plantea una situación de trade-off entre el precio y el tiempo que nos permite estimar el valor monetario de esta última variable. En nuestro modelo de elección modal, el valor del

⁶ Entre otros véase McFadden y Train (1978), J. Bates y M. Roberts (1986), S. Jara Díaz y M. Farah (1987), S. Jara Díaz y J. D. Ortúzar (1989), S. Díaz y J. Videla (1989) y T. D. K. Hau (1982).

⁷ Este enfoque ha sido aplicado en una extensa investigación sobre el valor del tiempo de viaje que se realizó en el Reino Unido. Ver por ejemplo J. Bates y M. Roberts (1986).

tiempo es igual al cociente entre el coeficiente estimado para la variable tiempo y el coeficiente hallado para el precio. Esta expresión debe interpretarse como el valor monetario de la utilidad marginal de un ahorro de tiempo de viaje.

El enfoque neoclásico sugiere que la valoración del tiempo variará según la actividad en que se emplee. Las diferencias contrastadas empíricamente en nuestro estudio se refieren a las distintas etapas del viaje (acceso, espera y en el vehículo). Por otro lado, el valor calculado dependerá de los supuestos sobre la forma de la función de utilidad. En nuestro caso, se han planteado dos formulaciones distintas: un único valor para toda la muestra y la segmentación de ésta de modo que obtenemos una valoración distinta para cada grupo homogéneo de renta. Dado que la renta individual está aproximada con escasa precisión los resultados deben valorarse cautelosamente.

3. Estimación del modelo y presentación de los resultados

El modelo se estimó a partir de una muestra formada por 1.268 observaciones que procedía de una encuesta elaborada en el área metropolitana de Barcelona. En el apéndice se detalla la selección de la muestra así como de las variables explicativas⁸. Los medios de transporte se agruparon como sigue: Privado (automóvil) y Público (autobús, metro y ferrocarril). Este enfoque bivalente no era el óptimo dado que las características de los tres medios de transporte público no son plenamente homogéneas. Sin embargo, la información disponible nos obligó a esta clasificación.

Sucesivas simplificaciones del modelo general nos permitieron llegar al modelo considerado como más adecuado y que se detalla en el Cuadro 1. Dadas las características del modelo Probit los coeficientes estimados únicamente son indicativos del efecto (signo) de un cambio en una determinada variable sobre la probabilidad de utilizar transporte privado. La magnitud del efecto depende de cual sea la probabilidad asociada a dicha elección antes del cambio⁹.

Todas las variables que caracterizan la oferta de transporte toman el signo correcto y aparecen plenamente significativas. Un coeficiente positivo (negativo) indica un aumento (disminución) de la probabilidad de viajar en transporte privado al incrementar el valor absoluto de la variable a la cual afecta.

De acuerdo con lo expuesto al plantear el modelo el tiempo de viaje —aquel que transcurre en el interior del vehículo— y el precio se han expresado como diferencia entre el valor observado para el transporte privado y el valor observado para el transporte público. Los coeficientes muestran que el impacto sobre la probabilidad de elegir transporte privado de una variación en el

⁸ La formulación más adecuada de las variables se derivó a partir de distintas especificaciones que pueden consultarse en el documento que sirve de base a este artículo.

⁹ Los efectos son menores, en valor absoluto, cuanto más cercanas de cero o de uno están las probabilidades iniciales.

tiempo es superior siempre al causado por una misma variación en los precios.

El tiempo de espera afecta sólo al transporte público y se dividió en dos variables. La primera se refiere al tiempo de espera del primer medio de transporte utilizado. La segunda toma un valor positivo sólo cuando se realizan uno o más transbordos modales distintos al de metro-metro¹⁰. Las estimaciones reflejan que los individuos acusan más un incremento del tiempo de espera —especialmente cuando el viaje requiere un transbordo— que un incremento del tiempo propiamente de viaje. Por último podemos destacar que la necesidad de utilizar medios de transporte con una frecuencia de paso superior a los 20 minutos aparece como la variable más significativa.

Una primera interpretación de los resultados pone de relieve que, a medida que se desintegra la red obligando a la realización de transbordos entre distintos medios no necesariamente coordinados o se obliga a viajar en horas fijas —que no siempre coincidirán con el horario de trabajo— decrece la utilización del transporte colectivo, manteniendo constantes el tiempo y el precio del viaje. Los factores que más importancia tienen en las decisiones individuales son aquellos que contemplan la rigidez, la comodidad y el grado de fiabilidad de los medios de transporte.

Las variables socioeconómicas incorporadas resultan escasamente significativas. No obstante, el valor relativo y el signo de los coeficientes es el esperado.

Respecto a la edad se constata que en términos estadísticos no existen diferencias en la probabilidad de elegir transporte privado para las personas comprendidas entre 35 y 60 años. El grupo de personas menores de 25 años es pequeño y no aporta demasiada información. La menor probabilidad para viajar en automóvil es para las personas mayores de 60 años. Esta variable capta parcialmente la disponibilidad de vehículo.

El nivel de cualificación actúa como proxy de la renta. Aunque la significación es baja se observa una mayor preferencia por el vehículo privado por parte de las personas de cualificación superior y presuntamente con mayores ingresos.

La persona que se considera cabeza de familia tiene una mayor probabilidad de utilizar el vehículo privado manteniendo constante el resto de variables. Lo mismo es cierto para los hombres en relación a las mujeres. Estos resultados pueden explicarse por una mayor facilidad para acceder al vehículo familiar por parte de las categorías señaladas.

Todas las variables socioeconómicas captan parcialmente el efecto del nivel de renta y de la disponibilidad de vehículo. Para mayores niveles de renta se observa una mayor probabilidad de viajar en transporte privado.

La función de demanda se estimó de nuevo segmentando la muestra atendiendo al nivel de actividad individual. La partición se efectuó en tres grandes

¹⁰ Los datos sugirieron que el metro debía tratarse como un único medio de transporte aunque el viaje necesitara un transbordo.

CUADRO 1
Estimación de la demanda de transporte para
la elección modal

Variable dependiente: probabilidad de viajar
en transporte privado

C	-0.61 (-3.0)
Diferencia coste	-0.0040 (-4.6)
Diferencia tiempo	-0.0162 (-3.6)
Tiempo espera 1	0.058 (2.5)
Tiempo espera 2	0.14 (5.9)
Frecuencia > 20 min.	1.18 (6.6)
Tiempo a pie	0.019 (2.1)
Edad < 25	0.05 (0.3)
25 < edad < 35	0.17 (1.7)
50 < edad < 60	-0.02 (-0.2)
Edad > 60	-0.31 (-1.6)
No cualificado	-0.11 (-0.7)
Cualificado	-0.24 (-1.8)
Cabeza familia	0.29 (2.3)
Sexo	0.30 (2.4)
N	1268
Log (L)	-679.3

Nota: Las variables se hallan definidas en el apéndice.

grupos: trabajadores no cualificados, cualificados y con cualificación superior (mando medio, directivo, empresario)¹¹. No pudimos observar ninguna diferenciación entre las tres submuestras en la valoración del coste y, en cambio, sí que la valoración del tiempo es distinta. A medida que aumenta la categoría

¹¹ La muestra quedaba repartida de la siguiente forma:

1. No cualificados	515
2. Cualificados	1148
3. Cualificación superior	162

profesional del individuo crece su utilidad marginal del tiempo. En el Cuadro 2 se presentan los resultados para los coeficientes afectados. Debemos señalar que el resto de coeficientes se mantenían estables respecto al modelo sin segmentar. La utilidad marginal del tiempo es parecida para los trabajadores cualificados y no cualificados. La diferencia más notable se halla para la categoría superior, sugiriendo una relación no lineal entre renta y valor del tiempo. Dadas las dificultades en la valoración de la renta individual los resultados presentados deben tratarse con cautela. No existe ninguna duda, no obstante, que individuos con distinto nivel de renta no valoran del mismo modo las características del medio de transporte. Mayores niveles de renta exigirán mayores esfuerzos inversores en los medios de transporte público o mayores penalizaciones en el transporte privado para lograr un trasvase de usuarios.

CUADRO 2
Comparación de los coeficientes afectados por la segmentación de la muestra

Variable dependiente: probabilidad de viajar en transporte privado		
	Muestra segmentada	Muestra única
Diferencia coste	-0.0041 (-4.5)	-0.0040 (-4.6)
Diferencia tiempo Actividad no cualificado	-0.0114 (-1.9)	
Diferencia tiempo Actividad cualificada	-0.0153 (-3.1)	-0.0162 (-3.6)
Diferencia tiempo Cualificación superior	-0.0440 (-4.0)	

4. Explotación de los resultados relativos a las características de la oferta de transporte

4.1. Elasticidades

El principal interés en la estimación de la función de demanda reside en conocer los efectos agregados de cambios en la política de transporte. Las respuestas de los individuos son relevantes para la planificación global de la red y para establecer medidas más concretas como mejoras en la velocidad, frecuencia o fiabilidad y cambios en la política tarifaria. Los coeficientes estimados del modelo indican la importancia relativa de los atributos de transporte sobre la elección modal pero no representan los efectos a nivel agregado. La elasticidad es un buen instrumento para presentar la información de forma útil para la planificación ya que traduce en términos cuantitativos agregados

el efecto de la política. La elasticidad se ha calculado para un cambio discreto en la variable X_i que refleja la característica respecto a la que queremos medir la respuesta de la demanda. La ecuación aplicada es:

$$E = \frac{(\sum P_i^* | X_i^* = X_i + \delta_i) - \sum (P_i | X_i = X_i)}{\frac{\sum \delta_i}{\sum X_i}}$$

En el modelo probabilístico aproximamos la demanda agregada como $\sum P_i$.

X_i se refiere a las características de los medios de transporte respecto a las que se calculan las elasticidades. δ_i es la variación aplicada a la variable X_i .

Las elasticidades se calcularon para porcentajes de variación de las variables explicativas que oscilaban entre el 10 y el 100 %. Los resultados indicaban elasticidad de la demanda constante y se mantuvieron los valores calculados para una variación del 10 %.

Debemos hacer algunas observaciones respecto a las elasticidades calculadas. En primer lugar, en un modelo de elección modal la elasticidad estimada refleja el efecto de una variación de la oferta de transporte sobre la probabilidad de utilizar una determinada alternativa bajo las hipótesis de número de viajes y destino fijos. Se ignoran también otras alternativas de transporte como el transporte laboral, el taxi o los viajes a pie. En segundo lugar, el valor estimado refleja la elasticidad a corto plazo ya que se supone que el individuo tiene fijado el lugar de residencia y de trabajo. Todos estos motivos apuntan a la estimación de una elasticidad que debe entenderse como un valor mínimo. Asimismo la propia naturaleza de los viajes al lugar de trabajo confieren un valor bajo a la elasticidad por tratarse de viajes de movilidad obligada. Debemos esperar que la sensibilidad de la demanda a cambios en la oferta sea más elevada para otros motivos de viaje como ocio o compras¹².

En el Cuadro 3 se detallan las elasticidades calculadas¹³. Los valores absolutos estimados son muy bajos confirmando la hipótesis, ya extendida, de demandas inelásticas en la elección del medio de transporte.

Para el transporte público los individuos se muestran menos sensibles al precio que a la calidad. En efecto, la elasticidad respecto al tiempo público dobla

¹² Adicionalmente, debemos señalar que el tiempo de viaje es una variable exógena del modelo y, no obstante, está relacionada con el nivel de demanda global. Un aumento del precio del viaje privado se traduce en una disminución del nivel de utilización y, en las zonas congestionadas, se reduce el tiempo de viaje lo que a su vez comporta un aumento de la demanda. Así pues cuando el tiempo es exógeno al modelo la elasticidad precio del transporte privado se sobrestimarán mientras que se subestimarán la elasticidad respecto al tiempo privado. El error cometido dependerá del nivel de congestión en la zona estudiada.

¹³ Las elasticidades corresponden a la muestra sin segmentar, que no diferían prácticamente de los calculados segmentando la muestra.

la elasticidad respecto al precio. Los individuos son también más sensibles al tiempo de espera, especialmente en el caso de necesidad de transbordo. Recordemos que el coeficiente estimado para el tiempo de espera es muy superior al del tiempo de viaje y, en cambio, la elasticidad es menor. Ello se debe a que el tiempo de espera es relativamente bajo para todos los usuarios situándose la media en 4,6 minutos.

CUADRO 3
Elasticidades calculadas para cada medio de transporte

<i>Demanda Transporte Público</i>	
Elasticidad precio	-0.15
Elasticidad tiempo de viaje	-0.35
Elasticidad primer tiempo espera	-0.25
Elasticidad segundo tiempo espera	-0.69
Elasticidad tiempo a pie	-0.08
Elasticidad cruzada	
Precio Tr. Privado	0.23
Tiempo Tr. Privado	0.16
<i>Demanda Transporte Privado</i>	
Elasticidad precio	-0.11
Elasticidad tiempo de viaje	-0.08
Elasticidad cruzada	
Precio Tr. Público	0.07
Tiempo Tr. Público	0.18

La respuesta de los usuarios al aumento del segundo tiempo de espera es muy significativa. Esta variable capta no sólo la valoración del segundo tiempo de espera sino también la necesidad de realizar un transbordo distinto al de metro-metro.

La elasticidad del tiempo a pie para acceder al medio de transporte es muy baja. En parte este resultado es debido al escaso tiempo andando hasta llegar a cada parada (el valor medio sumando los dos extremos es 4,9 minutos). Sin embargo, este resultado es fácilmente comprensible en los viajes por motivo trabajo. Las restricciones de horario invitan a aumentar la parte del recorrido a pie hasta llegar a un medio de transporte más rápido y fiable.

La elasticidad precio del transporte privado es prácticamente idéntica a la del transporte público. Por el contrario, la elasticidad respecto al tiempo de viaje es menor e inferior incluso a la del precio. Este resultado puede estar, hasta cierto punto, sujeto a la especificación del modelo. La incorporación como variable explicativa de la diferencia de tiempo supone que los individuos otorgan el mismo valor al tiempo empleado en viajar en transporte público y privado. En cualquier caso, la evidencia empírica demuestra una escasa sensibilidad de los automovilistas a los crecientes aumentos de congestión viaria.

Se han calculado también las elasticidades cruzadas. Es preciso señalar que los resultados están condicionados por el hecho que el número total de viajes sea fijo¹⁴.

Una elasticidad cruzada de la demanda de transporte público respecto al precio del transporte privado igual a 0.23 muestra que la respuesta individual es mayor cuando se actúa sobre el precio de este medio de transporte que cuando se modifica el precio del transporte colectivo. Es decir, para reducir la congestión sería más efectivo la introducción de un peaje sobre el automóvil que la disminución del precio del transporte público. En cuanto al tiempo la respuesta es inversa, la sensibilidad del usuario es mayor para variaciones de tiempo en el transporte público que privado.

Estos resultados obtenidos mediante un modelo de elección discreta para los viajes al lugar de trabajo no difieren sustancialmente de la evidencia existente¹⁵. Los estudios de carácter desagregado, que evitan sesgos en los datos, sugieren valores inferiores a los habitualmente utilizados. Así pues, las empresas de transporte público deben esperar una escasa reacción a variaciones en su precio ya que la elasticidad probablemente es inferior al -0.3 usado habitualmente como valor medio.

Hasta aquí hemos supuesto una única elasticidad para todo el mercado. Sin embargo, es razonable pensar que individuos con distintas características socioeconómicas tienen distinta sensibilidad a cambios en la oferta de transporte. Para contrastar este efecto dividimos la muestra en grupos homogéneos de población según: edad, sexo, nivel de actividad y relación con el cabeza de familia. Los resultados se presentan en el Cuadro 4.

Respecto a la variable edad no se observa ninguna variación en las elasticidades. Los restantes subgrupos en que se ha dividido la muestra actúan como proxies bien del nivel de renta, de la disponibilidad de vehículos o de ambos y en todos los casos se observa la misma tendencia. Los grupos con mayor nivel de renta y/o mayor disponibilidad de vehículo utilizan mayoritariamente el coche siendo su demanda para el vehículo privado la más inelástica. Por el contrario, su demanda de transporte público —aunque más baja— es más sensible a cualquier variación. La explicación reside en el hecho que la demanda de transporte público siempre es más elástica para los individuos

¹⁴ En los modelos de elección modal introducimos una restricción respecto a los valores que pueden tomar las elasticidades cruzadas. Dada la definición de elasticidad establecida y debido a que el número de viajes es fijo, para una misma variación de una característica del medio de transporte «i» obtendremos una elasticidad directa (ϵ_i) superior a la elasticidad cruzada (ϵ_{ij}) siempre que el número de usuarios de este medio de transporte sea superior al alternativo. Nuestros resultados deben interpretarse teniendo en cuenta que el número de usuarios del transporte privado es superior al público.

¹⁵ Una comparación en detalle puede hallarse en A. Matas (1990a). En concreto y para el caso español, G. de Rus (1990) ofrece elasticidades-precio similares a las de nuestro estudio cuando en un contexto de demanda agregada se contemplan las distintas opciones tarifarias.

que no son cautivos de este medio, los cuales coinciden con los de renta más elevada. Este tipo de resultado es común al hallado en otros trabajos. Por ejemplo, el dato más sorprendente es el aumento en valor absoluto —desde 0.13 a 0.28— de la elasticidad precio del transporte público al pasar de individuos cualificados a cualificación superior.

CUADRO 4
Elasticidades calculadas según grupos homogéneos

	No cualificado	Cualificado	Cualificado superior	Cabeza de familia Si	No
<i>Demanda Transporte Público</i>					
Elasticidad precio	-0.13	-0.13	-0.28	-0.16	-0.11
Elasticidad tiempo	-0.26	-0.25	-0.46	-0.32	-0.20
Elasticidad primer tiempo espera	-0.17	-0.17	-0.33	-0.21	-0.13
Elasticidad tiempo a pie	-0.04	-0.05	-0.18	-0.07	-0.04
Elasticidad cruzada					
Precio Tr. Privado	0.19	0.19	0.21	0.25	0.15
Tiempo Tr. Privado	0.13	0.13	0.08	0.17	0.10
<i>Demanda Transporte Privado</i>					
Elasticidad precio	-0.16	-0.13	-0.09	-0.12	-0.16
Elasticidad tiempo	-0.11	-0.09	-0.06	-0.08	-0.12
Elasticidad cruzada					
Precio Tr. Público	0.10	0.10	0.06	0.08	0.12
Tiempo Tr. Público	0.20	0.18	0.11	0.16	0.22

CUADRO 4
Elasticidades calculadas según grupos homogéneos (continuación)

	Hombres	Mujeres	Edad < 25	35 < edad < 50	edad > 50
<i>Demanda Transporte Público</i>					
Elasticidad precio	-0.16	-0.09	-0.13	-0.14	-0.12
Elasticidad tiempo	-0.32	-0.17	-0.25	-0.28	-0.25
Elasticidad primer tiempo espera	-0.21	-0.12	-0.16	-0.18	-0.16
Elasticidad tiempo a pie	-0.07	-0.06	-0.06	-0.06	-0.05
Elasticidad cruzada					
Precio Tr. Privado	0.25	0.12	0.19	0.21	0.18
Tiempo Tr. Privado	0.16	0.08	0.12	0.14	0.12
<i>Demanda Transporte Privado</i>					
Elasticidad precio	-0.12	-0.19	-0.13	-0.14	-0.16
Elasticidad tiempo	-0.09	-0.13	-0.09	-0.08	-0.12
Elasticidad cruzada					
Precio Tr. Público	0.08	0.14	0.09	0.08	0.10
Tiempo Tr. Público	0.16	0.27	0.18	0.16	0.21

La interpretación realizada de las elasticidades por grupos de población no aconseja distintas políticas para subgrupos específicos. Las diferencias se deben fundamentalmente a distintos niveles de renta o disponibilidad de vehículo. De nuevo se pone de manifiesto que, cuanto más alto sea el nivel de renta y, consecuentemente, mayor el número de vehículos por persona más difícil será cambiar el comportamiento de los usuarios del vehículo privado.

A medida que ha aumentado el nivel de renta la utilización del transporte público ha decrecido lo que ha generado un incremento del déficit. Las empresas de transporte han respondido a menudo con reducciones de la calidad, que a su vez implican nuevas reducciones de usuarios. Este círculo vicioso adquiere tanta más importancia cuando se señala una elasticidad calidad del servicio superior a la elasticidad precio. La baja calidad del transporte público influye a largo plazo en la compra de vehículos y, si ello es así, cada vez será más difícil que el transporte público capte nuevos usuarios.

4.2. El valor del tiempo

Los modelos de elección discreta permiten hallar el valor del tiempo. En efecto, tal como indicamos en el apartado 2.2, dada la especificación de nuestro modelo podemos calcular el valor de un ahorro de tiempo como el cociente entre el coeficiente estimado para la variable diferencia de tiempo y el estimado para la diferencia de precio. En las inversiones en transporte los ahorros de tiempo acostumbran a representar la mayor parte de los beneficios; por ejemplo en las infraestructuras viarias significan alrededor del 80 por 100. El valor del tiempo también tiene aplicación en la política de transporte urbano para valorar no sólo inversiones infraestructurales (prolongaciones de metro o redefiniciones de la red de autobús) sino también cambios en la frecuencia de paso o en el recorrido de distintas líneas¹⁶.

En primer lugar, se calculó un único valor para toda la muestra a partir del modelo presentado en el Cuadro 1. Posteriormente, se estimó el valor del tiempo de viaje para cada segmento de muestra definidos según el nivel de ingresos. Las estimaciones quedan reflejadas en el Cuadro 5.

El valor del tiempo según el modelo general es 242 ptas./hora, que corresponde aproximadamente a una media ponderada de las valoraciones según el tipo de actividad. Efectivamente, el valor del tiempo crece desde 169 ptas. para las ocupaciones no cualificadas hasta 644 ptas. para la categoría de mandos medios, directivos y empresarios (cualificación superior).

De acuerdo con el primer modelo se han deducido las valoraciones para los distintos tiempos. Tal como la teoría sugiere se confirma una diferenciación en la valoración del tiempo según como éste se emplee. El aumento de utilidad derivado de un ahorro de tiempo de espera es 3,6 veces superior al

¹⁶ El valor del tiempo que presentamos es el que se obtiene directamente del modelo, para ser aplicado a la evaluación deberíamos hacer algunas consideraciones acerca de la imposición y de su relación con el nivel de renta.

CUADRO 5
Valoración del tiempo (ptas./hora) (1987)

VDT en la muestra sin segmentar		VDT de viaje segmentando la muestra	
VDT viaje	242 (2.8)	No cualificado	169 (1.6)
VDT espera 1	872 (1.5)	Cualificado	226 (2.7)
VDT espera 2	2132 (4.4)	Cualificación Superior	644 (3.0)
VDT a pie	287 (1.8)		

Nota: Los valores entre paréntesis reflejan los estadísticos «t».

tiempo de viaje. Para el segundo tiempo de espera el ratio es 8,8, pero recordemos que incluye la necesidad de transbordar. En contra de lo que algunas veces se supone la valoración del tiempo a pie es prácticamente idéntica a la valoración del tiempo en el vehículo. Estas estimaciones reflejan ordenaciones de magnitud que sirven, no obstante, para acotar la importancia el problema. En general, los resultados de nuestra investigación no difieren de los hallados en otros estudios.

Tanto las inversiones en infraestructura como las políticas de transporte deben tener en cuenta estas valoraciones y actuar de acuerdo con ellas para no distorsionar los resultados. La práctica habitual de calcular el valor del tiempo como un único porcentaje del salario discrimina en contra de soluciones de elevado coste infraestructural pero que inciden en el tiempo de espera o en la necesidad de transbordo. Por ejemplo, la redefinición de la red de metro —prolongaciones, nuevas conexiones o nuevas líneas— son soluciones costosas del tráfico pero de las que debemos esperar un rendimiento elevado ya que evitan transbordos y agilizan el viaje.

5. Conclusiones

La política de transporte urbano dispone de dos instrumentos alternativos para corregir las externalidades provocadas por el transporte de superficie: la fijación de un impuesto a los medios que causan congestión y la subvención de aquellos que, bien no causan congestión o bien, lo hacen en menor medida. El objetivo en ambos casos es lograr un trasvase de usuarios desde el transporte privado al público, reduciendo el nivel global de externalidad. La fijación de un impuesto al tráfico urbano no ha gozado de gran aceptación como forma de intervenir en el mercado, a pesar de ser la política óptima desde el punto de vista asignativo. Las razones que explican su falta de aplicación deben buscarse en sus efectos distributivos y en las dificultades prácticas de implementación. El coeficiente estimado para la elasticidad de la demanda

de transporte público respecto al precio del privado muestra que, la escasa sensibilidad de los automovilistas frente a variaciones del precio, requerirá elevados peajes para conseguir una reducción sustancial del tráfico. No obstante, dados los altos niveles de congestión en las ciudades, existen importantes beneficios potenciales derivados de su introducción. Así, pues, siempre que los beneficios del impuesto superen los costes de su implementación, ésta será la política óptima desde el punto de vista asignativo. Sin embargo, en su valoración no pueden omitirse los importantes efectos distributivos que tendría la fijación de un elevado impuesto. Todos los medios de transporte de superficie deben satisfacer el peaje de acuerdo con el nivel de externalidades que provocan. El impuesto será máximo para el automóvil privado y variará según la zona y el período del día en que se circule.

La subvención del precio del transporte público ha sido la política más frecuentemente utilizada para corregir las externalidades. De acuerdo con los resultados de nuestro análisis la efectividad esperada de esta segunda opción es menor que la del impuesto de congestión. Una elasticidad cruzada respecto al precio del transporte público igual a 0.07 revela que son necesarias fuertes disminuciones del precio para lograr un trasvase efectivo de usuarios entre medios. La política será más efectiva para los medios de transporte que, como el metro, no congestionan la red viaria. Adicionalmente, para evaluar de forma correcta los beneficios netos de la subvención, debemos descontar la pérdida de eficiencia productiva de las empresas que genera su introducción¹⁷.

El análisis de las elasticidades muestra que existe un uso alternativo y más eficiente de la subvención: la mejora de calidad del servicio expresada en términos de tiempo. Si bien la demanda es más sensible a la variación de la calidad que del precio, sigue mostrando una elasticidad baja. Por tanto, no podemos esperar cambios espectaculares de variaciones marginales en la oferta.

La evidencia derivada de la ecuación de demanda indica que las variables que más inciden en la elección modal son el transbordo entre distintos medios y los largos tiempos de espera. Por otro lado, se ha observado una preferencia del metro frente al autobús por su mayor regularidad y fiabilidad. Estos resultados apuntan a la necesidad de realizar cambios más profundos en la oferta de transporte colectivo si la solución del problema del tráfico en las ciudades debe pasar por el impulso de este medio. Los objetivos de incrementar la calidad se concretarían en una mejora de las conexiones, en la integración física y, probablemente, tarifaria de la red y en el impulso de medios de transporte independientes de la congestión viaria que minimicen la variabilidad del tiempo de recorrido. La potenciación del transporte público en el ámbito de nuestro estudio requiere, cuantiosas inversiones infraestructurales en estos medios de las que debemos esperar importantes rendimientos a juzgar por los valores del tiempo estimados.

¹⁷ En A. Matas (1990b) puede hallarse un trabajo empírico al respecto y en la tesis que fundamenta este estudio existe una revisión de distintas investigaciones publicadas sobre este tema.

Apéndice. Selección de la muestra y de las variables explicativas

Para estimar la función de demanda se partió de una encuesta domiciliaria realizada por la Corporación Metropolitana de Barcelona¹⁸. La encuesta respondía en gran parte a nuestras necesidades para aplicar un modelo de elección discreta. Proporcionaba información a nivel individual tanto respecto a las características del viaje como a las socioeconómicas. No obstante, dado que no estaba pensada para este fin, no incluye información sobre las posibilidades y medios de transporte alternativos lo que requirió complementarla con estimaciones indirectas.

El enfoque por el cual optamos se denomina «preferencias reveladas» y estima el modelo a partir de datos observados. Una correcta estimación requiere ser cautelosos en el tratamiento de la muestra. En particular, debemos asegurar que la elección entre alternativas sea factible para el individuo y no impuesta. Es decir, no deben existir usuarios cautivos de un determinado medio de transporte. Por otro lado, debemos estar seguros que el individuo conoce cada una de las opciones. En segundo lugar, todas las características que afectan la elección deben incluirse como variables explicativas. El grado de rigurosidad con que se hayan medido los atributos también afecta la calidad de la estimación. La encuesta disponible se filtró y corrigió de forma que los anteriores requisitos quedaran garantizados. La muestra se seleccionó de manera que no existieran personas cautivas de algún medio de transporte. Así, se excluyeron las personas que, bien no tenían acceso al vehículo privado o bien, no disponían de una alternativa factible de transporte público.

A continuación se detallan las variables explicativas seleccionadas:

— A. Socioeconómicas

Edad. Esta variable se dividió en cinco categorías siendo la de referencia la edad comprendida entre 35 y 50 años.

Nivel de actividad. Es una forma de aproximar el nivel de renta. Aunque sea una variable discreta posee la ventaja de que todos los individuos responden a ella y no existen incentivos para no revelar correctamente el tipo de actividad como ocurre en el caso de la renta. Se establecieron tres grandes categorías: no cualificado, cualificado y cualificación superior —que incorpora mando medio, empresario y directivo. Siendo la última el nivel de referencia.

Relación con el cabeza de familia. Se creó una variable ficticia que toma el valor 1 para el cabeza de familia y 0 en el resto de los casos.

Sexo. Toma el valor 1 para los hombres y 0 para las mujeres.

¹⁸ Eyser (1988).

B. Características de los medios de transporte

Precio del viaje. Partimos el supuesto que los individuos seleccionan la alternativa en función del precio relativo de los dos medios de transporte y no de su valor absoluto y que el individuo es indiferente entre gastar una peseta en transporte privado o público. La variable explicativa se expresó como diferencia de precio entre los dos medios de transporte.

Tiempo de viaje. Se entiende como tiempo de viaje aquel que el individuo pasa dentro del vehículo. Igual que para la variable precio el individuo elige según la diferencia de tiempo entre las alternativas y la formulación más adecuada fue incorporar la diferencia de tiempo como variable explicativa.

Tiempo de espera. Esta variable toma el valor cero para el transporte privado. Para los viajes en transporte público se aproximó como una mitad de la frecuencia de paso y se expresó en minutos. Se distinguió entre primer y segundo tiempo de espera según se realizara o no transbordo modal (ESPERA 1 y ESPERA 2). Los datos sugirieron que el metro debía tratarse como un único medio de transporte aunque se precisara transbordar.

Frecuencia. En algunos trayectos interurbanos no existía una frecuencia de paso regular sino que el transporte público funciona con un horario fijo. En estos casos —y siempre que la regularidad sea máxima— el tiempo de espera es nulo. Sin embargo, los viajes están penalizados ya que la frecuencia es inferior. Para tener en cuenta este hecho se creó una variable ficticia que toma el valor 1 siempre que la frecuencia de paso sea superior a 20 minutos y 0 en cualquier otro caso (FRECUENCIA < 20 mín.).

Tiempo a pie. De nuevo asignamos un tiempo nulo para el transporte privado. Para el transporte público se calculó un tiempo aproximado en cada caso.

Referencias

- Amemiya, T. (1981): «Qualitative Response Models», *Journal of Economic Literature*, 19, 1481-1536.
- Bates, J. J. y Roberts, M. (1986): «Value of Time Research: Summary of Methodology and Findings», PTRC.
- De Rus, G. (1990): «Public Transport Demand Elasticities in Spain», *Journal of Transport Economics and Policy*, mayo.
- De Serpa, A. C. (1971): «A Theory of Economics of Time», *Economic Journal*, 87, diciembre, 828-846.
- Domencich, T. y McFadden, D. (1975): *Urban Travel Demand.*, North Holland.
- Eyser (1988): *Encuesta Domiciliaria sobre la Movilidad Obligada y No Obligada*, Barcelona.
- Hau, T. D. (1982): «A Hicksian Approach to Cost Benefit Analysis with Discrete Choice Models», Department of Economics, University of California Davis Working Paper Series, 197, julio.
- Jara Díaz, S. y Farah, M. (1987): «Transport Demand and Users' Benefit with Fixed Income: The Good/Leisure Trade Off Revisited», *Transportation Research*, 2 21B, 165-170.

- Jara Díaz, S. y Ortuzar, J. D. (1989): «Introducing The Expenditure Rate in the Estimation of Mode Choice Models», *Journal of Transport Economics and Policy*, septiembre, 293-308.
- Jara Díaz, S. y Videla, J. (1989): «Detection of the Income Effect in Mode Choice: Theory and Application», *Transportation Research*, 6 23B, 393-400.
- McFadden, D. (1973): «Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behaviour», en *Frontiers in Econometrics*, P. Zarembka, ed. Academic Press.
- McFadden, D. (1974): «The measurement of urban travel demand», *Journal of Public Economics*, vol. 3, n.º 4, 303-328.
- McFadden, D. (1981): «Econometric Models of Probabilistic Choice», en *Structural Analysis of Discrete Data With Econometric Applications*, Manski, C. F. y MacFadden, D. eds. MIT Press, 198-272.
- McFadden, D. y Train, K. (1978): «The Goods/Leisure Tradeoff and Disaggregate Work Trip Mode Choice Models», *Transportation Research*, 12, 349-353.
- Matas, A. (1990a): «Valoración de las respuestas individuales a cambios en la oferta de transporte. Aplicación al Area Metropolitana de Barcelona», Documento de Trabajo, n.º 68. Fundación FIES.
- Matas, A. (1990b): «Características técnicas y eficiencia de la empresa de transporte urbano de superficie», Documento de Trabajo», n.º 67. Fundación FIES.

Abstract

The objective of this paper is to evaluate which are the main determinants of urban transport demand. For this purpose a demand function is estimated according to a Probit model with two alternatives: private and public transport. The model estimation allowed us to calculate the transport demand elasticities with respect to price and time variables, the last one divided into different categories. Moreover, an estimation of the value of time is also presented. Some relevant conclusions for urban transport policy are derived from the research.

Recepción del original, enero de 1991
Versión final, abril de 1991