

# EL VALOR DEL TIEMPO CON CONGESTIÓN: EL CASO DE LA RADIAL-3\*

*PEDRO CANTOS SÁNCHEZ  
ÓSCAR ÁLVAREZ SAN-JAIME  
Universidad de Valencia*

El presente trabajo muestra la importancia de valorar el tiempo que los automovilistas viajan bajo congestión de manera separada al tiempo total del viaje. Nuestro trabajo obtiene que, para un viaje promedio en el corredor analizado, los usuarios valoran un minuto en congestión un 140% por encima del valor del tiempo en ausencia de restricciones de tráfico. Para obtener este resultado se ha llevado a cabo un experimento basado en las técnicas de preferencias declaradas para el tráfico de uno de los principales accesos a Madrid, el corredor de Levante. En dicho corredor, los automovilistas pueden optar por utilizar en los últimos 33 kms de acceso a Madrid una autopista de pago, más rápida y que garantiza un nivel de congestión prácticamente nulo, o una autovía gratuita más lenta con niveles de congestión muy importantes, sobre todo, en los periodos punta. Por último se han evaluado las potenciales ganancias que generarían diferentes reducciones del peaje en la autopista de pago. Éstas se producirían en la medida que se reducirían los tiempos totales de viaje, los niveles de congestión en la autovía e incluso los costes de combustible de los vehículos.

*Palabras clave:* valor del tiempo, congestión, transporte.

*Clasificación JEL:* R41, R48.

**L**a estimación del valor del tiempo es un elemento clave en la realización de cualquier ejercicio de evaluación socioeconómica sobre proyectos para nuevas infraestructuras de transporte. Como es sabido, los resultados de los análisis coste-beneficio aplicados a la implantación de nuevas infraestructuras de transporte son enormemente sensibles al valor del tiempo considerado.

---

(\*) Los autores agradecen la financiación recibida por el Ministerio de Fomento (proyecto 20020719-FOM/2002/04), así como la ayuda prestada dentro del proyecto SEJ2007-60320 del Ministerio de Ciencia y Tecnología. Asimismo las sugerencias y comentarios de Mar González en el diseño de la encuesta, y de Anna Matas y Javier Asensio han sido muy útiles en la elaboración del trabajo. También los autores desean agradecer los comentarios y sugerencias realizados por los evaluadores así como por el editor de la revista.

En este campo existe una amplia literatura destinada a la estimación del valor del tiempo. Una técnica muy habitual para la valoración del tiempo se basa en la estimación de modelos de elección modal, en los que se calculan las tasas marginales de sustitución entre los costes y los tiempos de viaje de las diversas alternativas de transporte. Otros estudios se han basado en las elecciones de ruta por parte de los usuarios para obtener una valoración del tiempo.

Hensher (1978) señala ya las ventajas de las técnicas de preferencias declaradas en la estimación empírica del valor del tiempo. Bruzelius (1979) ofrece también una amplia discusión sobre la literatura dedicada a esta área, y resume algunos resultados importantes. En concreto, estima que el tiempo dentro del vehículo para los viajes por motivo de trabajo se valoraba entre un 20-30% del salario, y además el tiempo de viaje por motivo de ocio era tasado claramente por debajo al tiempo por motivo de trabajo. Trabajos más recientes [Waters (1992)] han elevado la valoración del tiempo de viaje por motivo de trabajo aproximadamente al 50% del salario, indicando que por lo general esta valoración depende del nivel de renta y del nivel de salarios de los usuarios, aunque esta relación no es necesariamente proporcional.

En todo caso la literatura dedicada a la estimación del valor del tiempo es bastante amplia. Entre otros trabajos pueden citarse los siguientes: Hensher (1997), Morellet (1997), Small (1997), Wardman (1998), Boiteux (2000) y Quinet y Vickerman (2004). Varios son los resultados comunes en todos ellos. Al igual que los estudios anteriores, el valor del tiempo más alto se obtiene para los viajes por motivo de trabajo, seguido del valor para los viajes en los desplazamientos a o desde el trabajo, y del valor para los viajes por motivo de ocio. Con respecto al valor del tiempo para los usuarios por modos de transporte, la valoración más alta se obtiene para los viajes en avión, seguidos del tren, y por último, para los viajes por carretera. Los valores del tiempo para los viajes urbanos son inferiores a los obtenidos para los viajes interurbanos. Por último, se obtiene que el valor del tiempo es creciente con la duración total del viaje.

Una segunda línea de trabajo muy interesante, aunque mucho menos desarrollada, ha consistido en evaluar si el tiempo que los automovilistas soportan bajo congestión es valorado de manera más significativa que el valor del tiempo sin congestión. En esta línea, algunos trabajos han concluido que el valor del tiempo siempre es más alto cuando el tráfico se mueve en condiciones de congestión. Así, Train (1976), Bradley *et al.* (1986) y Bates *et al.* (1987) obtienen valores del tiempo en congestión en torno a un 30% superiores al tiempo en ausencia de congestión. Por otra parte, el trabajo realizado por MVA Consultancy (1987) para el Departamento de Transporte británico estima que el valor del tiempo bajo congestión se encuentra en torno a un 40% superior al tiempo en ausencia de congestión. Otro trabajo posterior llevado a cabo por MVA y ITS Leeds (1992) sobre el valor del tiempo en Holanda estimaba que el valor del tiempo bajo congestión se situaba entre 1,5 y 3,9 veces el valor del tiempo sin congestión. Por último, Small *et al.* (1999) obtienen que el tiempo bajo congestión, en promedio, es valorado tres veces el tiempo sin congestión.

Existe también un amplio grupo de trabajos dedicado a la valoración de la fiabilidad, no tanto en términos de lo que supone la incomodidad de la congestión sino en términos de la variabilidad del tiempo de viaje [Lam y Small (2001); No-

land y Polak (2002); Brownstone y Small (2005)]. Los trabajos concluyen que la desutilidad provocada por la variabilidad del tiempo es mucho mayor a la provocada por el tiempo total de viaje.

Nuestro trabajo se va a centrar en el análisis sobre si los usuarios valoran de manera distinta el tiempo de viaje del tiempo en congestión. De esta manera se pretende analizar no sólo cómo los usuarios valoran el tiempo, cuando tienen la posibilidad de escoger entre diferentes vías con tiempos de viaje y precios distintos, sino también cómo los usuarios valoran la reducción o el incremento del tiempo de viaje bajo congestión. Éste es un aspecto que normalmente no se ha tenido en cuenta en los ejercicios de coste-beneficio aplicados a la inversión en proyectos de nuevas carreteras.

La creación del sistema de carreteras radiales de acceso y/o salida a Madrid es un ejemplo de nuevas iniciativas cuya finalidad ha pretendido fundamentalmente reducir la congestión de tráfico en las antiguas autovías de acceso a Madrid. En concreto, se ofrece la posibilidad de acceder a las diversas vías de circunvalación de Madrid de manera más rápida y ágil que en las vías tradicionales o autovías de acceso, si bien se ha de satisfacer un peaje una vez se accede a esta nueva vía rápida. Aunque esta situación no es enteramente novedosa dentro de España (existen situaciones similares en los accesos a Barcelona, así como en diferentes rutas interurbanas), sí es la primera vez que la construcción de estas nuevas autopistas de carácter privado se realiza con el fin exclusivo de aliviar la congestión en el acceso a grandes ciudades. En todo caso, la justificación de estas inversiones estará siempre muy ligada a la decisión sobre el precio o peaje que se va a fijar por el uso de esta nueva infraestructura. Precios distintos repercutirán sobre la distribución del tráfico entre las dos vías y por tanto, afectarán a los cambios en los tiempos de viaje y a los tiempos en congestión.

En concreto, la principal contribución de nuestro trabajo se centra en la estimación de la desutilidad que para el automovilista supone viajar bajo congestión independientemente de la desutilidad que supone el tiempo de viaje. Este aspecto es novedoso en el contexto del transporte en España, y el trabajo muestra la importancia de que este fenómeno sea tenido en cuenta y valorado adecuadamente. Las vías de acceso y salida a Madrid, y en concreto, las nuevas vías de peaje de acceso (llamadas radiales) frente a las tradicionales autovías suponen un contexto donde este aspecto debe ser convenientemente evaluado.

El artículo se estructura de la manera siguiente. La sección 1 presenta de manera breve el modelo que se va a estimar. La sección 2 analiza el experimento desarrollado en el trabajo. La sección 3 describe los principales resultados de las estimaciones. La sección 4 presenta diversas estimaciones sobre las ganancias sociales derivadas de diferentes políticas de precios. La sección 5 finaliza con las principales conclusiones del trabajo.

## 1. EL MODELO A ESTIMAR

El marco teórico sobre el que se desarrolla nuestro trabajo se basa en el trabajo de McFadden (1981) que desarrolla el comportamiento del consumidor en un contexto de elecciones discretas. En particular se supone que la función indirecta

de utilidad del usuario puede expresarse como la suma de una parte determinística ( $V^a$ ), lineal en los parámetros, y un componente aleatorio  $\varepsilon$ :

$$V_{ij} = V_{ij}^a(T_j, T_{cj}, M_j) + \varepsilon_{ij} = \beta_T T_j + \beta_{jc} (T_{cj} / T_j) + \beta_M M_j + \varepsilon_{ij} \quad [1]$$

donde  $i$  hace referencia al usuario y  $j$  a la ruta escogida,  $T_j$  es el tiempo total de viaje,  $T_{cj}$  es el tiempo de viaje en condiciones de congestión,  $M_j$  es el coste monetario de emplear la ruta seleccionada, y  $\varepsilon_{ij}$  es el término aleatorio que recoge todos aquellos factores que desconocemos o que no pueden modelizarse.

Dado que el usuario debe elegir entre dos rutas ( $j = A$  o  $B$ ), el usuario escogerá  $A$  siempre que  $V_{iA} > V_{iB}$ , esto es, si  $V_{iA}^a + \varepsilon_{iA} > V_{iB}^a + \varepsilon_{iB}$ . Dado que no se conocen los valores para el término aleatorio, puede estimarse la probabilidad de que  $V_{iA} > V_{iB}$  se cumple cuando:

$$P_{iA} = P[(\varepsilon_{iB} - \varepsilon_{iA}) < (V_{iA} - V_{iB})] \quad [2]$$

Por tanto, la probabilidad que el usuario  $i$  escoja la ruta  $A$  es igual a aquella que hace que la diferencia entre los términos aleatorios de ambas opciones sea menor que la diferencia en el respectivo componente sistemático. Suponiendo que ambos términos aleatorios se distribuyen de manera idéntica e independiente siguiendo una función de tipo *Gumbel*, la probabilidad de escoger la ruta  $A$  puede escribirse como sigue:

$$P_{iA} = \frac{\exp V_{iA}}{\exp V_{iA} + \exp V_{iB}} \quad [3]$$

Se expresa así la probabilidad de escoger una determinada ruta siguiendo la especificación del conocido modelo *logit*.

Por otra parte, siguiendo a Small *et al.* (1999), el impacto que el tiempo en congestión provoca sobre el bienestar de los usuarios también puede calcularse a partir de la ecuación [1]. Una forma interesante de analizar este efecto consiste en medir cuánto mejora el usuario cuando consigue cambiar un minuto de su viaje en condiciones de congestión a condiciones de tráfico libre. Para ello, y utilizando la expresión que refleja el coste para el usuario reflejado en la ecuación [1], éste puede reescribirse del siguiente modo:

$$V_{ij}^a = \beta_M (C_j + M_j) \quad [4a]$$

donde

$$C_j = (\beta_T / \beta_M) T_j + (\beta_{jc} / \beta_M) (T_{cj} / T_j) \quad [4b]$$

$C_j$  representa el valor de la desutilidad que supone para el usuario el tiempo de desplazamiento de su viaje, incluyendo dos términos diferenciados. Se separa así la desutilidad asociada al tiempo total de viaje reflejada en el primer sumando, de la desutilidad provocada porque parte del viaje se realiza bajo congestión. Nótese

que el primer sumando de la ecuación [4b] refleja el valor de la desutilidad que conceden los usuarios al tiempo total de viaje. Esta expresión representa el habitual cociente entre la desutilidad marginal del tiempo de viaje y la desutilidad del coste, lo cual se interpreta como el valor del tiempo que concede el usuario. El segundo sumando incluye la desutilidad que le reporta al usuario el hecho de que parte de ese viaje se realice en condiciones de congestión<sup>1</sup>.

De este modo, si se mantuviera constante el tiempo total de viaje y un minuto del tiempo de viaje sin congestión se hiciese ahora en condiciones de atasco, nótese que el primer sumando de la ecuación anterior no se vería modificado, pero el segundo término sí lo haría en la magnitud expresada por  $\Delta C_j = (1/T_j) (\beta_{fc}/\beta_M)$ .

## 2. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

El contexto que se va a modelizar corresponde a uno de los accesos por carretera a la ciudad de Madrid de mayor intensidad de tráfico. Se trata de los últimos treinta y tres kilómetros de acceso a Madrid por la denominada autovía de Levante o A-3, que pueden ser realizados alternativamente a través de una vía de pago y de alta capacidad denominada Radial-3. Esta vía alternativa, de una mayor calidad en el trazado y en el firme que la autovía, garantiza tiempos de viaje por lo general más cortos, sobre todo, en los periodos punta de los accesos y salidas de Madrid. Este menor tiempo de viaje se produce debido a que la Radial-3 garantiza niveles de congestión notablemente inferiores a los que los automovilistas pueden sufrir en la vía gratuita alternativa.

Para reunir la información necesaria que nos permita estimar el modelo se llevó a cabo una encuesta en la que los usuarios debían tomar decisiones sobre cuál de las dos vías escogían ante diferentes condiciones de viaje. En concreto, a los usuarios se les plantean hipotéticas situaciones donde cambian, para cada una de las vías, los niveles de tiempo de viaje, coste y el porcentaje que supone el tiempo bajo congestión respecto al total del tiempo de viaje. A este tipo de técnica se le denomina encuesta de preferencias declaradas.

El diseño de la encuesta se realizó en función de tres variables básicas que definían cada una de las alternativas (utilizar la autopista de pago R-3 o la autovía gratuita A-3). Reuniones con responsables de la Demarcación de carreteras de Madrid señalaban que los principales determinantes en la elección entre una u otra vía eran las diferencias en los tiempos de viaje, la posibilidad de enfrentarse a un atasco o tráfico congestionado, y las diferencias en el coste económico. Por tanto, el diseño se centró en captar de manera adecuada estos tres aspectos. Otros, como las diferencias en los niveles de seguridad o comodidad entre ambas vías, son factores mucho menos relevantes en la toma de decisiones de los usuarios. Por tanto, las variables básicas, que fueron convenientemente descritas en el cuestionario, fueron las siguientes:

(1) Bajo la especificación establecida en la ecuación [1], el valor de una unidad de tiempo definido como menos el cociente entre la utilidad marginal del tiempo y la utilidad marginal del coste, sería  $(\beta_T - \beta_{fc} (T_{cj}/T_j^2))/\beta_M$ .

- Coste monetario de utilizar cada vía: donde se incluían todos los costes monetarios en términos de peajes, consumo de combustibles y depreciación del vehículo. De este modo el coste añadido de viajar por la R-3 es el valor del peaje, si bien, el resto de costes monetarios podría ser distinto dependiendo de la vía utilizada.
- Tiempo de viaje: definido como el tiempo de viaje que suponía la utilización de la R-3 o el tramo alternativo correspondiente a la A-3.
- Porcentaje de tiempo que el usuario viajaba en condiciones de congestión respecto a los niveles de tiempo de viaje antes señalados.

En el cuestionario se señalaba expresamente que todas las variables estaban definidas para el tramo de viaje correspondiente a la R-3 o el tramo alternativo para la A-3. Es de esperar que los viajes sean más amplios que los definidos en nuestra encuesta, pero nuestro trabajo pretende abarcar únicamente el análisis de la elección entre la R-3 y la A-3, por lo que este argumento fue clave para determinar los niveles de nuestras variables.

Dadas las características específicas de la encuesta se optó por una recogida de la información en dos fases. En la primera, se diseñó un breve cuestionario de captación del automovilista que lo retenía no más de treinta segundos, sólo se preguntaba por el motivo del viaje, el tipo de trabajo del automovilista, el origen y destino de su viaje, así como el tiempo previsto total para su desplazamiento. Se aprovechaba este momento para entregarle un cuestionario mucho más amplio que debía devolver relleno con franqueo gratuito a la dirección de la empresa encargada de realizar el trabajo de campo. La segunda fase de la encuesta requería de la contestación del automovilista en su domicilio, dado que la relativa complejidad de la encuesta necesitaba de una respuesta más pausada y reflexiva que la que podría producirse si los encuestados eran directamente preguntados en los mismos puntos de la R-3 o A-3. El cuestionario fue repartido tanto en la R-3 como en la A-3 durante el mes de febrero de 2006<sup>2</sup>. Se repartieron tanto en día laborable como en fin de semana (los horarios de captación fueron de 8 a 10 de la mañana y de 18 a 20 horas por la tarde). La tasa de respuesta fue del 20,1%, por lo que hubo de realizarse un esfuerzo adicional para recoger una muestra suficientemente amplia<sup>3</sup>. Finalmente fueron 302 los cuestionarios devueltos, de los que 183 correspondían a automovilistas captados en la A-3 y 119 en la R-3. De este modo disponíamos de 2718 observaciones, que correspondían a las elecciones efectuadas por los 302 encuestados.

En el siguiente cuadro aparece una descripción de la muestra describiendo algunas de las características socioeconómicas y del tipo de viajes de los encuestados.

---

(2) Los puntos de captación de encuestas fueron las salidas/entradas de la M40 y M45 en la Radial-3, y las gasolineras de la A-3 en los puntos kilométricos 7 y 11,2.

(3) Al objeto de incentivar la respuesta se indicaba en el cuestionario que se llevaría a cabo un sorteo de un GPS para el automóvil así como de varios mapas de tráfico.

Para el diseño concreto de la encuesta se analizaron los niveles de tráfico más recientes que puso a nuestra disposición la demarcación de carreteras de la Comunidad de Madrid. Esto permitía ver también las velocidades medias en cada punto kilométrico de la R-3 y la A-3 en diferentes tramos horarios y distintos días de la semana. De esta manera podía calcularse para cada vía, de manera aproxi-

Cuadro 1: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA (302 ENCUESTADOS)

	Nº	%
<b>Sexo</b>		
Hombre	234	77,5
Mujer	68	22,5
<b>Edad</b>		
De 18 a 30 años	88	29,1
De 31 a 50 años	173	57,3
Más de 50 años	41	13,6
No sabe/No contesta (NS/NC)	0	0,0
<b>Motivo viaje:</b>		
Desplazamiento al trabajo	82	28,3
Desplazamiento al domicilio	66	22,8
Por necesidades del trabajo (horario laboral)	19	6,6
Estudios	1	0,3
Ocio-compras	122	42,1
NS/NC	12	3,9
<b>Entrega cuestionario</b>		
A-3	183	60,6
R-3	119	39,4
<b>Día de encuesta</b>		
Fin de semana	148	49,0
Laborables	154	51,0
<b>Duración del viaje completo (en minutos)</b>		
Menos de 15	67	22,1
16-30	132	43,8
31-45	44	14,5
46-60	27	9,0
61-90	17	5,5
Más de 90	14	4,5
NS/NC	2	0,7

Cuadro 1: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA (302 ENCUESTADOS) (continuación)

	Nº	%
Nivel de renta (en euros)		
Menos de 1.000	14	4,6
Entre 1.001 y 1.500	38	12,6
Entre 1.501 y 2.000	41	13,6
Entre 2.001 y 2.500	39	12,9
Entre 2.501 y 3.000	47	15,6
Entre 3.001 y 4.000	31	10,3
Entre 4.001 y 5.000	12	4,0
Entre 5.001 y 7.000	10	3,3
Entre 7.001 y 9.000	3	1,0
Más de 9.000	2	0,7
NS/NC	65	21,5
Nivel de estudios		
Estudios universitarios	120	39,7
Estudios medios	122	40,4
Estudios primarios	54	17,9
Sin estudios	1	0,3
NS/NC	5	1,7

Fuente: Elaboración propia.

mada, además del tiempo de viaje, el porcentaje respecto al tiempo total del viaje que los usuarios viajaban bajo tráfico congestionado<sup>4</sup>. Con esta información se diseñó un escenario que fuera muy cercano a la situación más realista y a partir de ahí se modificaron los niveles de las tres variables antes definidas al objeto de captar a distintos tipos de usuarios ante diferentes escenarios con condiciones cambiantes en las características del viaje. En concreto se diseñaron tres niveles distintos para cada una de las variables básicas.

Un diseño factorial completo que recoja todas estas combinaciones tiene muy pocas probabilidades de éxito, debido a la ingente cantidad de información que se le pide al individuo y a los elevados sesgos y errores de respuesta que implica un cuestionario tan largo<sup>5</sup>. Un modo de reducir el tamaño del cuestionario consiste en un diseño fraccionado que permita captar los efectos principales y a la vez reduzca de modo notable la información que se demanda del individuo.

(4) Se suponía que cuando la velocidad media durante un kilómetro era inferior a 20 km/h, el tráfico era congestionado, es decir, se producían retenciones.

(5) Escogidas las tres variables con tres niveles distintos, ello nos llevaría a un diseño de 27 posibles combinaciones, lo cual implicaría un cuestionario extremadamente extenso y tedioso.



La literatura [véase Kocur *et al.* (1982)] proporciona planes experimentales que presentan diseños fraccionales que consiguen mantener la ortogonalidad del experimento de modo que nos permita captar el efecto atribuible a cada variable de forma independiente. Así se recomienda para un diseño de 3 variables y 3 niveles (0, 1 y 2) un modelo de 9 combinaciones. Siguiendo este esquema, el diseño queda como sigue en el cuadro 2:

Cuadro 2: DISEÑO COMPLETO DEL EXPERIMENTO

Escenario	Coste R-3 (en euros)	Coste A-3 (en euros)	Tiempo R-3 (en minutos)	Tiempo A-3 (en minutos)	% Atasco R3	% Atasco A3
1	5,25	3,5	21	30	0%	10%
2	5,25	3,5	15	30	5%	35%
3	5,25	3,5	20	40	5%	25%
4	5	2,5	21	30	5%	25%
5	5	2,5	15	30	0%	10%
6	5	2,5	20	40	5%	35%
7	6,25	3	21	30	5%	35%
8	6,25	3	15	30	5%	25%
9	6,25	3	20	40	0%	10%

Fuente: Elaboración propia.

Previamente al diseño definitivo del experimento se realizó una encuesta piloto (realizada el mes de noviembre de 2005) que nos permitiera solventar algunas cuestiones relativas a la adecuada comprensión de las preguntas y escenarios planteados, además de analizar si el diseño era capaz de captar las preferencias de los diferentes tipos de usuarios de ambas vías. Además la encuesta piloto permitió calibrar de manera aproximada las tasas de respuesta respecto a los niveles de entrega de encuestas en los puntos de captación, y supuso también un primer test que conseguía evaluar si el diseño era capaz de captar a usuarios con distintos valores del tiempo.

### 3. RESULTADOS

En el cuadro 3 aparecen los resultados de las estimaciones donde se incluyen tres especificaciones distintas del modelo básico utilizado en el trabajo, tomando siempre como referencia para la estimación la ecuación [1]. Debe resaltarse que las estimaciones relativas a las variables más relevantes de nuestro análisis (las diferencias en el coste monetario, de tiempos de viaje y de porcentaje de tiempo en congestión) son siempre muy robustas ante las diversas especificaciones que se plantearon. Por otra parte, las respuestas de 34 de los encuestados fueron eliminadas al observar inconsistencias en sus respuestas. De este modo el número total de observaciones se cifra en 2.412.

Cuadro 3: RESULTADOS DE LAS ESTIMACIONES (VARIABLE DEPENDIENTE: PROBABILIDAD DE ESCOGER LA R-3)

Variable	Ecuación 1			Ecuación 2			Ecuación 3		
	Coefficiente	t-Stat	t-Stat	Coefficiente	t-Stat	t-Stat	Coefficiente	t-Stat	t-Stat
C	-0,246	-1,001		-0,409	-1,416		-0,483	-1,550	
DTIEMP ( $\beta_T$ )	-0,099	-8,624***		-0,109	-9,573***		-0,110	-9,302***	
DCOSTE ( $\beta_M$ )	-0,632	-7,437***		-0,690	-8,273***		-0,701	-8,086***	
DCONG ( $\beta_C$ )	-2,073	-3,888***		-2,284	-2,112**		-2,195	-3,311***	
CAUT				5,697	9,789***		5,754	9,863***	
ESTINF							-0,019	-0,128	
ESTMED							-0,389	-3,334***	
TIEMPT							0,002	1,799*	
OCIO							0,408	3,768***	
% de predicciones correctas	0,633			0,746			0,746		
Suma cuadrados residuos	531,206			389,285			362,194		
Log. Verosimilitud	-1,519,46			-1,121,77			-1,048,49		
$\rho^2 (C)$	0,056			0,308			0,319		
Total observaciones	2,412			2,412			2,272 <sup>1</sup>		
$(\beta_T/\beta_M)$	0,157			0,158			0,157		
$(\beta_T/\beta_M)$	3,277			3,310			3,133		

1. Este menor tamaño muestral se debe a la ausencia de respuestas para algunos encuestados en el apartado de nivel de estudios.

\*\*\*, \*\* y \* representan significatividad estadística al 1, 5 y 10% respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

La definición de las variables utilizadas es la siguiente:

- C representa la constante.
- DTIEMP es la diferencia de tiempo de viaje entre viajar por la R-3 y la A-3.
- DCOSTE es la diferencia entre el coste monetario de la R-3 y la A-3.
- DCONG es la diferencia entre el porcentaje de tiempo en congestión en la R-3 y la A-3.
- CAUT es una variable ficticia que toma valor 1 cuando el encuestado afirma utilizar siempre la R-3 en cualquiera de los nueve escenarios planteados<sup>6</sup>.
- ESTINF: variable ficticia que toma valor 1 cuando el nivel de estudios del sustentador principal correspondía a estudios primarios o sin estudios y 0 para el resto de niveles.
- ESTMED: variable ficticia que toma valor 1 cuando el nivel de estudios del sustentador principal correspondía a estudios medios o secundarios y 0 para el resto de niveles.
- TIEMPT: refleja el tiempo de viaje global declarado por el encuestado (que será siempre superior al tiempo estrictamente utilizado en la R-3 o su tramo alternativo de la A-3).
- OCIO: variable ficticia que toma valor 1 cuando el usuario declaraba viajar por motivos de ocio o compras, distinto al desplazamiento al trabajo o del trabajo a casa.

Al objeto de valorar la robustez de nuestras estimaciones, se han incorporado también los cocientes de los parámetros correspondientes a los dos sumandos de la ecuación [4b] representativa de la desutilidad que el tiempo de viaje reporta al automovilista.

Fueron varias las ecuaciones alternativas que se estimaron. La ecuación [1] representa la ecuación básica en la que sólo se incluyeron las variables que caracterizan las dos rutas que deben escoger los encuestados. La ecuación [2] incluye además una variable ficticia que recoge el hecho de que algunos de los encuestados escojan siempre la opción de la R-3. En todo caso, se llevaron a cabo también las estimaciones con una submuestra en la que se eliminaron tales individuos. Comparando los resultados de ambas especificaciones se concluye que las estimaciones son muy similares. En particular, tanto el valor del tiempo no congestionado como el tiempo congestionado son ligeramente superiores en el caso donde se incluye toda la muestra<sup>7</sup>. Por otra parte, y dado que las estimacio-

---

(6) Con esta variable se pretende captar el efecto de aquellos encuestados que siempre responden esta opción. En el caso de la R-3 esto ocurría con 70 encuestados de los 302 finales. Por el contrario, para la A-3 este fenómeno era mucho menor (sólo se daba para 22 encuestados), por lo que se optó por incluir únicamente a los que escogían siempre la R-3.

(7) El fenómeno de los encuestados denominados cautivos ha sido analizado ampliamente por la literatura [véase Espino *et al.* (2004) o Saelensmid (2004)]. Por lo general, en muchos trabajos se ha optado por la exclusión de la muestra, pero otros trabajos [McCarthy (1997)] muestran que su exclusión también puede sesgar los resultados.

nes son muy similares y que los estadísticos relativos a la bondad del ajuste ( $\rho^2(C)$ , el logaritmo de la función de verosimilitud o el porcentaje de predicciones correctas) son mejores cuando se considera la variable CAUT, se optó por mantener ésta en los modelos a estimar.

En segundo lugar, se realizó un análisis al objeto de detectar un posible efecto renta que afectase a las estimaciones. En esta línea seguimos el método propuesto por Jara-Díaz y Videla (1989) y presentado también en Espino *et al.* (2006)<sup>8</sup>. El método consiste en especificar un término cuadrático para el coste dentro de la función de utilidad y estimar el modelo a continuación para diferentes estratos de renta. Son tres propiedades las que deben cumplirse: a) el coeficiente estimado para el coste es negativo, b) el coeficiente del término cuadrático del coste es positivo y decreciente con la renta, y c) la utilidad marginal de la renta (en nuestro caso, el coeficiente negativo del coste) debe decrecer con la renta. Dado que la propiedad b) no se cumplía, se optó por no tener en cuenta este efecto en las estimaciones. En todo caso, en el modelo [3] se incluyeron dos variables ficticias que reflejasen el nivel de estudios del encuestado, en la medida que el nivel de ingresos y de estudios se encuentran relacionados. La no relevancia del efecto renta puede explicarse además por el hecho de que los encuestados con estudios universitarios y medios representan aproximadamente el 80% del total de la muestra (cuadro 1). Esto revela la presencia en la muestra de un sesgo hacia niveles de estudio y renta más altos que la población media de los usuarios, que debe caracterizarse por una mayor variabilidad.

Debemos destacar que la variable constante no es estadísticamente significativa en ninguna de las tres ecuaciones estimadas. No obstante, su signo negativo indica, que si el resto de variables explicativas tuviese valor cero, los usuarios escogerían la A-3. Los resultados para las variables básicas (coste, tiempo y congestión) son los esperados en las tres especificaciones, pues cuando se incrementa el tiempo de viaje, el coste monetario o el porcentaje del viaje bajo congestión, la probabilidad de utilizar la R-3 disminuye. De estos resultados debemos destacar la relevancia de la variable relativa a la congestión, lo cual indica que un análisis que no tenga en cuenta de manera explícita este efecto sesgaría enormemente los resultados.

En cuanto a la ecuación [2], se observa que la variable representativa de los usuarios que siempre contestaban la R-3 es altamente significativa. Respecto a la ecuación [3], se obtiene que el estimador asociado al tiempo total de viaje declarado por el automovilista (independientemente del tramo empleado en la R-3 o la A-3) es positivo, aunque no estadísticamente significativo. Este resultado es importante, pues determina que la probabilidad de utilizar la R-3 para los viajes de menor recorrido (fundamentalmente los viajes *a*/desde el lugar de trabajo) es más baja que para los viajes de mayor recorrido o desplazamientos más largos.

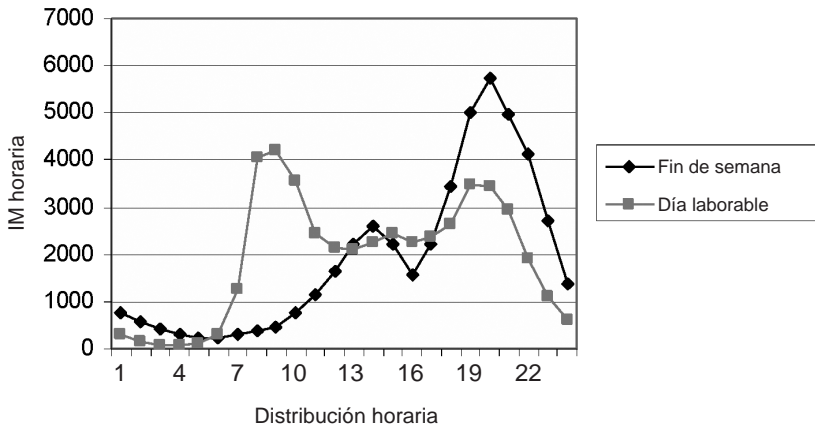
El resultado del estimador para la variable OCIO puede parecer sorprendente, pues indica que los viajes por ocio/compras tienen una mayor probabilidad de uti-

---

(8) Agradecemos en este punto la recomendación de uno de los evaluadores.

lizar la R-3. Sin embargo, existen varias razones que pueden explicar este resultado. En primer lugar, casi el 75% de los encuestados que viajaban a o desde el trabajo decían hacer ese viaje todos los días laborables. Por el contrario, la mayoría de los que viajaban por ocio/compras manifestaban hacer el viaje una vez por semana. Esta mayor frecuencia de los viajes al trabajo puede explicar la reticencia a utilizar la vía de peaje, mientras que los viajeros de ocio/compras (independientemente de que valoren menos el tiempo), dada su menor frecuencia de viaje, están más dispuestos a utilizar la vía de pago. Asimismo, los niveles de tráfico punta son incluso superiores en fin de semana que en día laborable. Por ejemplo, a partir de los datos de aforo de los primeros kilómetros de la A-3 (véase gráfico 1), en un domingo promedio para el año 2004 en hora punta de 19 a 20 horas se contabilizan cerca de 6.000 vehículos, mientras que en la hora punta de mayor tráfico en día laborable se contabilizan en torno a 4200 vehículos en el tramo horario de las 8 a las 9 de la mañana. Además, los viajes de mayor recorrido (donde predominan los viajes de ocio) también son los que utilizan con mayor probabilidad la R-3.

Gráfico 1: INTENSIDAD MEDIA DE LOS VEHÍCULOS POR HORA EN LA A-3 (ÚLTIMOS 28 KMS). AÑO 2004



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la variable TIEMPT, si bien el estadístico no es estadísticamente significativo, el signo positivo indicaría que los desplazamientos para los que el tiempo total de viaje (incluyendo el tiempo en el tramo de la R-3 o A-3) es mayor, la probabilidad de escoger la R-3 es más alta. En todo caso, como se desprende del cuadro 1, el 80,4% de la muestra corresponde a viajes cuya duración total es inferior a 45 minutos, es decir, predominan los viajes hacia o desde el trabajo, junto a viajes por motivos de ocio/compras realizados dentro del área metropolitana de Madrid. Son por tanto, fundamentalmente, viajes cortos los que

se analizan en nuestra muestra, lo cual posiblemente no sea representativo del tipo de tráfico que utiliza la A-3 o la R-3 en determinados periodos punta de fin de semana o vacaciones.

Alternativamente se realizaron especificaciones alternativas incluyendo nuevas variables o sustituyendo algunas de las variables ficticias. Así se obtenía que el estimador para la variable que reflejaba que los viajes se producían en fin de semana era positivo y altamente significativo lo que denotaba que la probabilidad de utilizar la R-3 es mayor para este tipo de viajes. En todo caso, algunas de estas variables estaban altamente correlacionadas. Esto ocurría, por ejemplo, con las variables que representaban los viajes en fin de semana respecto a los viajes realizados por motivo de ocio/compras o la variable representativa de la frecuencia de los viajes (la frecuencia de estos viajes es mucho menor que la de los desplazamientos a/desde el trabajo). Por eso, se optó por incluir sólo la variable ficticia relativa al motivo de viaje. Por último, se introdujeron también nuevas variables en el modelo relativas a la edad, sexo, etc., pero dado que no eran estadísticamente significativas se prefirió un análisis donde sólo se introdujeron las variables ficticias más relevantes.

### 3.1. La valoración del tiempo de viaje y la congestión

Como vimos en la ecuación [4b], el coste que en términos de tiempo supone el desplazamiento para el usuario podía separarse en dos componentes. El primer componente ( $(\beta_T/\beta_M) T_j$ ) es la valoración del tiempo de viaje realizado en la R-3 o el tramo alternativo de la A-3. Nótese que el tiempo total de viaje no recoge el efecto que parte pueda llevarse a cabo con tráfico congestionado. Dado que  $T_j$  refleja el tiempo de viaje en minutos, el cociente  $(\beta_T/\beta_M)$  expresa la valoración de un minuto de viaje. Si expresamos, como es habitual, el valor de una hora de tiempo de viaje, el resultado derivado del cuadro 3 reportaría un valor aproximado de 9,4 euros hora.

Como se ha comprobado en todas las estimaciones, el estimador es siempre estadísticamente significativo y con un valor muy estable en torno a -2,07 y -2,28 para el porcentaje de viaje bajo congestión. Este resultado indica que ante dos viajes, uno sin congestión y otro congestionado, pero que suponen el mismo tiempo de viaje, el segundo de los viajes supone una mayor desutilidad para el viajero. Así, si valoramos cómo los usuarios transforman un minuto de su viaje en congestión a un minuto en condiciones de tráfico descongestionado, dicha valoración viene reflejada por la expresión  $\Delta C_j = (1/T_j) (\beta_{jc}/\beta_M)$ . Considerando que el tiempo de viaje es de unos quince minutos (valor promedio del tiempo empleado en la R-3 o su tramo alternativo de la A-3), el valor de la desutilidad provocada por un minuto bajo congestión estaría en torno a los 0,21 euros.

Para valorar de manera más adecuada este resultado debe señalarse que el valor de un minuto de viaje es de 0,158 euros. Así en trayectos de 15 minutos, el valor del tiempo de un minuto congestionado es valorado en 0,378 euros (esto es, un 140% por encima del valor del tiempo sin congestión).

### 3.2. Las elasticidades

En segundo lugar, se ha procedido a estimar las elasticidades que pueden derivarse de los modelos estimados. En concreto, la elasticidad para cada individuo  $i$  de la probabilidad de utilizar la alternativa  $l$  dado un conjunto de  $j$  alternativas en un modelo logit multinomial se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$E_{X_{jki}}^{P_{li}} = \beta_{jk} X_{jki} (\delta_{lj} - P_{ji}) \quad [5]$$

donde:

$$\delta_{lj} = \begin{cases} 1 & \text{si } l = j \text{ (elasticidad directa)} \\ 0 & \text{si } l \neq j \text{ (elasticidad cruzada)} \end{cases}$$

De este modo, y bajo las dos alternativas de nuestro modelo, escoger la ruta A o B,  $E_{X_{jki}}^{P_{li}}$  representa la elasticidad de la probabilidad de escoger la alternativa A ( $P_{Ai}$ ) para el individuo  $i$  ante un cambio marginal en la variable  $k$  que describe la utilidad de dicha alternativa (en el caso de la elasticidad directa) o de la alternativa B (en el caso de la elasticidad cruzada). Para estimar una elasticidad agregada para el conjunto de la muestra, la técnica que se emplea consiste en evaluar la ecuación anterior para cada individuo, para a continuación agregar las elasticidades individuales obtenidas, ponderando cada una de ellas por la probabilidad estimada de elección para cada individuo [véase Dunne (1984)].

En todo caso debe entenderse que estas elasticidades en términos de la elección entre dos modos (dos vías en este caso) están definidas para un volumen de tráfico dado, de modo que no existe generación de tráfico. Además, son muy sensibles a las cuotas de mercado que predice el modelo, por lo que si éstas no coinciden con las que se dan en la realidad, las estimaciones estarán sesgadas. Un método para eliminar este sesgo consiste en reescalar el término independiente al objeto de replicar una distribución del tráfico que sea realista [Coslett (1981)]<sup>9</sup>. Aplicando esta técnica y, a partir de la estimación de la ecuación 1, los resultados fueron los siguientes:

ELAST PREC. DIR.	ELAST PREC CRUZ	ELAST TIEMP DIR	ELAST TIEMP CRUZ	ELAST. CONG. DIR.	ELAST. CONG CRUZ.
-0,921	0,326	-0,939	0,398	-0,309	0,131

(9) A partir de los datos del Mapa de Tráfico publicado por el Ministerio de Fomento se calculó un valor promedio en torno al 20% del tráfico en la radial y el 80% en la autovía.

Debe destacarse de estos resultados el hecho que las elasticidades-precio son, por lo general, relativamente elevadas<sup>10</sup>. Este resultado puede explicarse en la medida que el contexto evaluado se compone de dos infraestructuras altamente sustitutivas, lo que puede implicar una mayor sensibilidad del tráfico ante cambios en los costes monetarios del viaje. Por otro lado, las elasticidades tiempo, tanto directa como cruzada, son ligeramente superiores a las elasticidades precio. Por último, los valores para la elasticidad respecto a la congestión son reducidos. Esta elasticidad debe entenderse como el cambio en la probabilidad de escoger la Radial-3 ante un cambio porcentual en el tiempo de viaje congestionado en dicha vía (elasticidad directa) o en la A-3 (elasticidad cruzada), manteniendo el tiempo total de viaje constante.

### 3.3. *Un análisis segmentado de la muestra*

A continuación segmentaremos la muestra en función de diversos parámetros al objeto de ampliar nuestro análisis. Dos son los niveles de desagregación que se analizarán:

- Viajes al/desde el trabajo *versus* viajes por motivo de ocio/compras.
- Viajes realizados en días laborables *versus* en fin de semana.

#### 3.3.1. Viajes al/desde el trabajo *versus* viajes por motivo de ocio/compras

En los viajes al o desde el trabajo sólo se consideran los viajes que se desplazan desde casa a la dirección del trabajo o desde la dirección del trabajo hacia casa. Los viajes que se producen en horario laboral fueron excluidos (éstos fueron sólo el 6,6% de la muestra). Asimismo los viajes que se hacían por motivo de ocio, compras o asuntos familiares fueron agrupados en una única categoría. El cuadro 4 presenta los resultados en función del motivo de viaje declarado en la encuesta.

Del cuadro anterior pueden derivarse algunos resultados interesantes. Como es de esperar, el valor del tiempo total de viaje para los viajeros de ocio (0,13 euros por minuto equivalentes a 7,8 euros por hora) es menor que el obtenido para los usuarios que viajan a o desde el domicilio de trabajo (0,175 euros por minuto equivalentes a 10,5 euros por hora). Asimismo, el valor que se obtiene para el tiempo de congestión en los desplazamientos a o desde el trabajo es superior en un 28% al obtenido para los usuarios de trabajo.

En el cuadro 5 hemos reflejado diferentes valores obtenidos por la literatura al objeto de situar y poder comparar nuestros resultados.

---

(10) En todo caso cuando se estima la elasticidad de la demanda respecto al peaje los valores son sensiblemente mayores a la elasticidad respecto a otros costes monetarios, como el del combustible. Así Matas y Raymond (2003) estimaron elasticidades de demanda para las autopistas españolas respecto del peaje en un entorno entre 0,3 y 0,8 para las elasticidades de corto plazo y entre 0,4 y 1,3 para las de largo plazo. En todo caso se muestra que las elasticidades mayores se obtienen para las autopistas que poseen una alternativa, y ésta es de mayor calidad. Las elasticidades de demanda respecto al coste de combustible son mucho menores. Un valor muy aceptado se encuentra en torno a -0,3 [véase Oum *et al.* (1992)].



Cuadro 4: RESULTADOS ESTIMACIONES MOTIVO VIAJE

Variable	Motivo ocio/compras		Desplaz. al/desde trabajo	
	Coefficiente	t-Stat	Coefficiente	t-Stat
C	0,566	1,420	-0,445	-0,129
DTIEMP ( $\beta_T$ )	-0,074	-4,751***	-0,100	-7,256***
DCOSTE ( $\beta_M$ )	-0,550	-4,738***	-0,571	-5,653***
DCONG ( $\beta_{fc}$ )	-1,775	-2,058**	-2,372	-3,150***
CAUT	5,555	5,522***	5,785	8,088***
% de predicciones correctas	0,714		0,7660	
Suma cuadrados residuos	165,845		202,106	
Log, Verosimilitud	-474,375		-589,334	
$\rho^2$ (C)	0,246		0,315	
Total observaciones	1.008		1.233	
$(\beta_T/\beta_M)$	0,134		0,175	
$(\beta_{fc}/\beta_M)$	3,227		4,154	
Elasticidad Precio dir	-0,989		-0,868	
Elasticidad Precio cruz.	0,342		0,350	
Elasticidad Tiempo dir.	-0,836		-0,995	
Elasticidad Tiempo cruz.	0,475		0,354	

\*\*\*, \*\* y \* representan significatividad estadística al 1, 5 y 10% respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 5: EVIDENCIA INTERNACIONAL SOBRE VALORES DEL TIEMPO

	Fuente
Valor tiempo (en euros/hora)	
6 (viajes al trabajo) - 4 (viajes ocio)	UNITE (valores 1998)
10,5 (valor medio)	Morellet (1997)
9,5 (viajes al trabajo) - 5,2 (viajes ocio)	Boiteux (2000)
18,4 (valor medio)	Lam y Small (2001)
7-19,1 (valor medio) <sup>1</sup>	Small <i>et al.</i> (2002)
Valor fiabilidad (congestión, en euros/minuto)	
0,36	Small <i>et al.</i> (1999)
0,15 (hombres) - 0,38 (mujeres)	Lam y Small (2001)
0,25	Small <i>et al.</i> (2002)

1. Los valores dependen de la especificación adoptada para el modelo.

Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, los valores obtenidos para el valor del tiempo son algo superiores a los obtenidos en los trabajos europeos, aunque inferiores a los trabajos de Lam y Small (2001) y Small *et al.* (2002), donde el contexto (vía de pago frente a vía gratuita) en el que se estima el valor del tiempo es muy similar al analizado en nuestro trabajo. Respecto al valor de la fiabilidad, en Small *et al.* (1999) se sigue una modelización de la congestión similar a este trabajo, obteniéndose que la desutilidad por viajar en un minuto de congestión para un viaje aproximado de 15 minutos es de 0,36 euros (0,21 euros por minuto en nuestro trabajo). Otros trabajos como el de Lam y Small (2001) y Small *et al.* (2002), aproximan la fiabilidad del viaje como la desviación estándar del tiempo de viaje (producida por la congestión), cuyo valor en euros por minuto es similar al obtenido en nuestro trabajo.

En cuanto a las elasticidades directas respecto del precio, como es razonable, la estimada para los viajes de ocio es mayor a los viajes por motivo laboral. En cambio, en cuanto a la elasticidad tiempo, ésta es mayor para la muestra de viajes de trabajo que para los de ocio.

### 3.3.2. Viajes realizados en días laborables *versus* en fin de semana

Cuadro 6: RESULTADOS ESTIMACIONES LABORABLES/FIN DE SEMANA				
Variable	Día laborable		Fin de semana	
	Coefficiente	t-Stat	Coefficiente	t-Stat
C	-0,808*	-1,930	-0,011	-0,027
DTIEMP ( $\beta_T$ )	-0,136***	-8,115	-0,084	-5,372***
DCOSTE ( $\beta_M$ )	-0,794***	-6,540	-0,598	-5,161***
DCONG ( $\beta_{fc}$ )	-2,955***	-3,312	-1,579	-1,943*
CAUT	6,209***	6,170	5,317	7,451***
% de predicciones correctas	0,767		0,727	
Suma cuadrados residuos	183,974		202,066	
Log. verosimilitud	-536,724		-577,860	
$\rho^2$ (C)	0,347		0,273	
Total observaciones	1.170		1.237	
$(\beta_T/\beta_M)$	0,171		0,141	
$(\beta_{fc}/\beta_M)$	3,721		2,640	
Elasticidad Precio dir.	-0,844		-0,820	
Elasticidad Precio cruz.	0,491		0,307	
Elasticidad Tiempo dir.	-0,853		-0,753	
Elasticidad Tiempo cruz.	0,605		0,330	

\*\*\*, \*\* y \* representan significatividad estadística al 1, 5 y 10% respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la segmentación entre viajes en día laborable y fin de semana podemos destacar algunos comentarios importantes. En primer lugar, el valor del tiempo es mayor para los viajes en día laborable (10,3 euros/hora) que para los viajes de fin de semana (8,5 euros/hora). También el coste percibido por la congestión es mayor para los días laborables que en los viajes en fin de semana. Este resultado se explica porque la mayor parte de los viajes en día laborable son desplazamientos a/desde el trabajo que valoran los ahorros de tiempo en mayor medida que los viajes por motivo de ocio, producidos en su mayoría durante los fines de semana. En términos de las elasticidades no existen grandes diferencias entre las dos submuestras, salvo para la elasticidad tiempo cruzada.

En todo caso, y como ya se ha explicado al comentar los resultados del cuadro 3, a pesar de que los usuarios de ocio (mayormente viajes de fin de semana) valoran menos el tiempo y la desutilidad que les supone la congestión, en cambio, escogen con mayor probabilidad la R-3, dados los elevados índices de congestión en la A-3 y la menor frecuencia de este tipo de viajes.

#### 4. GANANCIAS SOCIALES DE LAS REDUCCIONES EN EL PEAJE DE LA R-3

Los resultados han mostrado que el tráfico en dicho corredor es relativamente muy sensible a las modificaciones, sobre todo, del precio y del tiempo de viaje. Dado que el tiempo de viaje y la congestión, producida básicamente en la A-3, es difícilmente modificable, a no ser que se invierta en una ampliación de esta infraestructura, la variable que puede afectar de manera más significativa a la distribución del tráfico es el peaje que se carga por la utilización de la R-3.

En esta línea es evidente que una reducción en el peaje de la R-3 provocaría un trasvase de tráfico desde la A-3 hacia la R-3. Esto produciría una mejora evidente en los tiempos de viaje de los usuarios de la A-3, puesto que, dados los relativamente bajos índices de uso de la R-3, los tiempos de viaje de los usuarios de la R-3 apenas se verían afectados. A este evidente beneficio deberíamos sumar las potenciales reducciones en el tiempo de congestión, lo cual se traduce en una disminución en el porcentaje del tiempo de viaje bajo congestión. Se trata de un beneficio, que habitualmente no se tiene en cuenta en la evaluación de los proyectos de transporte, pero que nuestro trabajo ha evidenciado que se trata de una cuestión de gran importancia. En cuanto a la valoración de estos beneficios, se han aproximado siguiendo la especificación definida en la ecuación [4b]. En primer lugar se valoran las reducciones del tiempo total de viaje, utilizando el primer sumando de dicha ecuación, producidas por el trasvase de tráfico hacia la R-3. En segundo lugar, a partir del segundo sumando de la ecuación [4b] valoramos el beneficio que supone la reducción en la congestión de la A-3. Por otra parte, cabe señalar que las valoraciones de la desutilidad asociadas al tiempo utilizadas fueron las obtenidas en la sección 3.3.2 que distinguen entre las estimaciones obtenidas para día laborable y para fin de semana (cuadro 6).

Otro beneficio a agregar serían los cambios en los costes operativos y de combustible que experimentaría el tráfico al reducirse los tiempos de congestión. Por otra parte, deberían evaluarse si se producen cambios en las condiciones de mantenimiento de la infraestructura motivadas por los cambios de tráfico. Y, por último, también deberían valorarse los cambios en los beneficios del operador de

la R-3. Es de esperar, que dado que la sensibilidad al precio es relativamente elevada (0,92) y que la mayor parte de los costes del operador son costes fijos (inversión en la creación de la infraestructura), la reducción de beneficios que experimentarían el operador de la caída del peaje no sería muy significativa. Otros aspectos como los efectos producidos en términos de accidentes o en términos del impacto medioambiental deberían ser incorporados también en el análisis. De todos modos, en la medida que el trasvase de tráfico se realiza dentro de un mismo modo de transporte como es la carretera, es de esperar que dichos efectos no sean significativos. En definitiva, debemos resaltar que el análisis coste-beneficio aquí planteado es por tanto una aproximación parcial.

De este modo hemos optado por valorar las ganancias sociales que produciría una hipotética reducción del peaje en la R-3. En primer lugar, los cambios netos en los tiempos de viaje se han utilizado a partir de las ecuaciones flujo-velocidad para las vías definidas por el DTLR británico (*Department for Transport, Local Government and the Regions*), y publicadas en los documentos del COBA más recientes<sup>11</sup>. Estas ganancias netas de tiempo se han distinguido entre las producidas en horario punta y valle, además de las producidas en día laborable y fin de semana<sup>12</sup>. En particular, las ecuaciones flujo-velocidad utilizadas fueron las definidas en dicho informe para autopistas y autovías de al menos dos carriles por sentido:

[Hasta 1.200 vehículos/hora/carril]	$V = 109 - 0,001666 F$
[De 1.200 a 1.800 vehículos/hora/carril]	$V = 147 - 0,0333 F$
[De 1.800 a 2.000 vehículos/hora/carril]	$V = 420 - 0,185 F$

donde:  $V$  representa la velocidad en km/hora y  $F$  el flujo de vehículos por hora y carril.

En consecuencia, se estimó primeramente el beneficio que produciría la reducción del tiempo de congestión en la A-3. Para calcular este punto se utilizó también la información proporcionada por la Demarcación de Carreteras de Madrid, en la que se ofrecen datos sobre la velocidad media en cada uno de los 33 kms finales de la A-3<sup>13</sup>. De este modo, una vez estimados los trasvases de tráfico producidos, se recalcularon las velocidades medias en cada kilómetro, y a partir de ahí, los tiempos totales de viaje y el porcentaje de tiempo bajo congestión. De este modo se estimó que si el peaje se reducía un 30%, el tiempo bajo congestión para un vehículo se reducía en aproximadamente 0,8 minutos, mientras que si el peaje se reducía un 50%, el tiempo de congestión baja aproximadamente en un minuto y medio. Es obvio que cuando el peaje disminuía sólo un 10%, la veloci-

(11) El modelo denominado COBA (Cost-Benefit Analysis) es el procedimiento de evaluación para puentes y carreteras que sigue el Ministerio de Transportes Británico (véase *The Highways Agency* (2002) o consúltese la dirección [www.dft.gov.uk](http://www.dft.gov.uk)).

(12) Los flujos de tráfico horarios en diferentes días fueron proporcionados por la Demarcación de Carreteras de Madrid a partir de los datos proporcionados por un vehículo flotante.

(13) Se escogieron días representativos en los que no existían incidencias (accidentes, lluvia, obras, etc.) tanto para el día laborable como el día en fin de semana. Además se consideraba que la circulación durante un kilómetro estaba congestionada si la velocidad media en dicho kilómetro era inferior a los 20 km/hora.

dad incrementaba marginalmente, por lo que los tiempos de congestión apenas se veían afectados. El valor de la congestión utilizado fue el obtenido para el valor medio de los tiempos de viaje declarados en la encuesta que fue de 35 minutos<sup>14</sup>.

Por último, se produce una nueva ganancia en términos de los cambios en los costes operativos y de combustible que experimentaría el tráfico al reducirse los tiempos de congestión. A partir de los cambios en los flujos de tráfico y de la velocidad, puede estimarse el cambio que supone el gasto en combustible al reducirse el tiempo de congestión. En todo caso, y como se aprecia en el cuadro 7, estas ganancias son mucho menores a las producidas por las reducciones de los tiempos de viaje y la congestión.

De este modo, se han probado diferentes reducciones alternativas en el peaje que valoraran las ganancias sociales producidas. En el caso que se redujera un 10% el peaje, el porcentaje del tiempo en congestión no se vería apenas afectado, por lo que el beneficio social producido sería únicamente el relativo a la mejora en los tiempos de viaje.

Por el contrario, si reducimos el peaje en un 30 o un 50%, aparecen beneficios derivados no sólo de las mejoras de tiempo, sino también de reducción de la congestión de la A-3, así como de reducciones en los costes de combustible de los vehículos. Los resultados aparecen en la siguiente cuadro:

Cuadro 7: BENEFICIOS ANUALES DERIVADOS DE REDUCCIONES DE PEAJE EN LA R-3

	Reducción 10%	Reducción 30%	Reducción 50%
Reducción tiempo viaje (en euros)	549.985	1.634.769	2.605.775
Reducción congestión (en euros)	–	1.855.105	3.260.710
Reducción costes combust. (en euros)	68.284	149.540	290.884
Total (en euros)	618.269	3.489.874	6.157.370

Fuente: Elaboración propia.

Como se desprende de los resultados del cuadro 7, una vez la reducción del peaje supone trasvases relevantes de tráfico que afectan de manera significativa a la disminución de congestión en la A-3, el beneficio que reporta dicha disminución de la congestión es incluso superior al beneficio derivado de los ahorros de tiempo totales. Por tanto, los beneficios derivados de la construcción de la nueva infraestructura serían claramente infravalorados si no se valoran las ganancias que para los usuarios supone la reducción de la congestión en la A-3.

(14) Esta ganancia representa en realidad un límite máximo, pues la reducción de la congestión y la mejora de las condiciones del tráfico de la A-3 provocarían un incremento del tráfico en dicha vía procedente de otros modos de tráfico (como el transporte público) o incluso podría generarse tráfico nuevo alentado por las mejores condiciones de tráfico de la A-3.

Por último, se pueden comparar estos beneficios con los costes que ha supuesto la inversión de esta nueva infraestructura. Para ello se ha de considerar un horizonte temporal para la inversión que integre los beneficios y costes adecuadamente descontados. En particular, los costes suponen el valor de la inversión, estimado en 295 millones de euros, más los costes de mantenimiento anuales que supone la nueva carretera (supondremos un valor aproximado de 18.630 euros por kilómetro)<sup>15</sup>. Si consideramos que la vida útil es de unos 50 años, y que el crecimiento del tráfico es constante y homogéneo en ambas vías a una tasa del 3%, la rentabilidad de la infraestructura depende fundamentalmente del tipo de interés que se tome como tasa de descuento temporal, pues los resultados obtenidos muestran que dicha rentabilidad es muy poco sensible a cambios en la tasa de incremento del tráfico.

Además hemos de suponer que a lo largo de la vida útil de la inversión, no se producen modificaciones significativas que alteren la distribución del tráfico una vez reducido el peaje en la R-3. Para ello debemos considerar que en la A-3 se realizan las adecuadas inversiones para mantener la capacidad de tráfico que le permita absorber la misma cuota de tráfico. Ello implicaría que, de manera aproximada y suponiendo que no hay ninguna reducción en el peaje de la R-3, sería necesario incrementar la capacidad de la A-3 ocasionalmente para absorber el incremento de tráfico. En el caso de la R-3, y considerando la reducción del peaje más intensa del 50%, el crecimiento del 3% anual conllevaría un nivel de tráfico en hora punta al término de los 50 años de 1.540 vehículos hora carril, nivel que todavía sería inferior a la capacidad máxima (en torno a unos 2.313 vehículos hora por carril).

En el cuadro 8 se presentan los resultados asociados a los beneficios agregados que se obtendrían tras suponer nuevamente los tres niveles de reducción de los peajes antes presentados.

El cuadro 8 refuerza la idea de que sólo una reducción muy significativa del peaje produciría los beneficios sociales suficientes para compensar el coste de la inversión y su mantenimiento posterior. En particular sólo se obtiene un beneficio neto positivo cuando el peaje se reduce el 50% con la tasa de descuento más baja del 3%. En el resto de los escenarios planteados, los beneficios estimados son claramente insuficientes para cubrir los costes derivados de la construcción y mantenimiento de la infraestructura.

## 5. CONCLUSIONES

Este estudio ha evidenciado la importancia de distinguir dentro del tiempo de viaje aquel que se produce en condiciones de tráfico sin restricciones del que se produce bajo tráfico congestionado. El trabajo se ha realizado dentro del contexto del tráfico de acceso a Madrid, en el que se ha comparado una vía con peaje (la Radial-3), pero que asegura menor tiempo de viaje y menor congestión, y una vía gratuita, de mayor tiempo de viaje y congestión (la autovía A-3). Además nuestro

---

(15) Datos procedentes de la Dirección General de Carreteras (fuente: Ministerio de Fomento, [www.fom.es](http://www.fom.es)).

**Cuadro 8: BENEFICIOS Y COSTES ASOCIADOS A LA R-3 (EN MILLONES DE EUROS)**

	<i>i</i> = 3%				<i>i</i> = 4%				<i>i</i> = 5%			
	↓ 10%	↓ 30%	↓ 50%	↓ 10%	↓ 30%	↓ 50%	↓ 10%	↓ 30%	↓ 50%	↓ 10%	↓ 30%	↓ 50%
Benefic. (B)	27,5	181,9	347,5	21,9	145,0	274,2	17,8	118,0	221,1			
Costes (C)	310,8	310,8	310,8	308,2	308,2	308,2	306,2	306,2	306,2			
Ratio (B/C)	0,09	0,58	1,11	0,07	0,47	0,89	0,06	0,38	0,72			

Fuente: Elaboración propia.

trabajo, dentro del ámbito nacional, supone un primer paso en la estimación del coste percibido que para los usuarios supone el tráfico congestionado en el acceso a una ciudad como Madrid.

El modelo *logit* estimado nos permite obtener valoraciones tanto para el tiempo de viaje como para el valor extra que supone viajar en condiciones de congestión. El valor medio para el tiempo obtenido se encuentra en torno a unos 9,4 euros por hora (0,15 euros por minuto). Adicionalmente, el valor extra que supone un minuto pasado en congestión (que ha de sumarse a los 0,15 euros que supone el valor del minuto de viaje) es muy significativo para los viajes cortos realizados dentro de la R-3 o su tramo alternativo en la A-3 (0,22 euros por minuto para viajes de 15 minutos). Otros resultados interesantes indican que cuanto mayor es el tiempo de viaje mayor es la probabilidad de utilizar la R-3. También los viajes realizados por motivos de ocio o compras y los realizados en fin de semana tienen una mayor probabilidad de utilizar la R-3 que los viajes por motivos de trabajo. Este resultado puede explicarse por la menor frecuencia de los viajes de ocio, así como por los altos niveles de congestión producidos los fines de semana (fundamentalmente los viernes y domingos por la tarde).

En cuanto a las elasticidades estimadas debe destacarse que las elasticidades precio y tiempo son, por lo general, elevadas. Este hecho puede explicarse porque estamos analizando el tráfico entre dos vías que son altamente sustitutivas, cuando por lo general, la carretera sólo tiene alternativas en otros medios de transporte (transporte público fundamentalmente), cosa que no ocurre en este contexto. Por otra parte, se ha realizado un análisis segmentado de la muestra que la separara entre viajes por motivos de trabajo o de ocio, en función de que sea en día laborable o fin de semana, y en función de la magnitud del tiempo de viaje.

Por último, dadas las condiciones actuales del tráfico se han estimado las ganancias sociales derivadas de potenciales reducciones en el peaje de la Radial-3. Los beneficios consisten en las reducciones netas del tiempo de viaje por carretera, en las ganancias producidas por la reducción de la congestión y en la disminución de los gastos de combustible generados por la menor congestión. De este modo se ha estimado, por ejemplo, que una reducción notable del peaje del 50% generaría unos beneficios sociales valorados en más de 6 millones de euros, de los cuales aproximadamente la mitad serían las ganancias derivadas de la reducción de la congestión. En resumen, el trabajo ha mostrado la importancia de valorar el tiempo de manera separada al valor del tiempo bajo congestión, y que por tanto se trata de una cuestión clave en la evaluación socioeconómica de los proyectos de transporte.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bates, J., Dix, M. y A. May (1987): "Travel time variability and its effect on time day choice for the journey to work", *Transportation Planning Methods, Proceedings of Seminar C, PTRC*, págs. 293-311.
- Boiteux, M. (2000): "Choix des investissements and prise en compte des nuisances". *La Documentation Française*, Paris.



- Bradley, M., Marks, P. y M. Wardman (1986): "A summary of four studies into the value of travel time savings", *Transportation Planning Methods, Proceedings of Seminar M, PTRC*, págs. 271-285.
- Brownstone, D. y K.A. Small (2005): "Value time and reliability: assessing the evidence from road pricing demonstrations", *Transportation Research Part A* 39, págs. 279-293.
- Bruzelius, N. (1979): *The value of travel time*. London: Croon Helm.
- Coslett, S. (1981): "Efficient estimation of discrete choice models", en C. Manski y D. McFadden (eds.): *Structural analysis of discrete data with econometric applications*, Cambridge: MIT Press, MA.
- Dunne, J. P. (1984): "Elasticity measures and disaggregate choice models". *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 18, n.º 2, págs. 189-197.
- Espino, R., Ortúzar, J. de D. y C. Román (2004): "Diseño de preferencias declaradas para analizar la demanda de viajes", *Estudios de Economía Aplicada*, vol. 22, págs. 725-729.
- Espino, R., Román, C. y J. de D. Ortúzar (2006): "Analysing demand for suburban trips: A mixed RP/SP model with latent variables and interaction effects", *Transportation*, vol. 33, págs. 241-261.
- Hensher, D.A. (1978). "Valuation in journey attributes: some existing empirical evidence", en D.A. Hensher y Q. Dalvi (eds.): *Determinants of travel choice*, New York: Praeger, págs. 203-265.
- Hensher, D.A. (1997): "Behavioral value of travel time savings in personal and commercial automobile travel", en Green, Jones and Delucchi (eds.): *The full costs and benefits for Transportation*, Berlin: Springer.
- Jara-Díaz, S. y J. Videla (1989): "Detection of income effect in mode choice: theory and application", *Transportation Research Part B*, vol. 6, págs. 393-400.
- Kocur, G., Alern, T., Hyman, W. y B. Aunet (1982): "Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment", Report UMTA-NH-11-0001-82, Urban Mass Transportation Administration, US Department of Transportation, Washington DC.
- Lam, C.L. y K.A. Small (2001): "The value of time and reliability: measurement from a value pricing experiment", *Transportation Research Part E* 37, págs. 231-251.
- Matas, A. y J.L. Raymond (2003): "Demand Elasticity on Tolled Motorways", *Journal of Transportation and Statistics*, vol. 6, n.º 2-3, págs. 91-108.
- McCarthy, P.S. (1997): "The role of captivity in aggregate share models of intercity passenger travel", *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 31, n.º 3, págs. 293-308.
- McFadden, D. (1981): "Econometric models of probabilistic choice", en C. F. Mansky y D. McFadden (eds.): *Structural Analysis of Discrete Data and Econometric Applications*, Cambridge: MIT Press, MA.
- Morellet, O. (1997): *Modèle MATISSE*. Test de la version du 14/05/1997, INRETS.
- MVA Consultancy, ITS Leeds y Transport Studies Unit of Oxford University (1987): "The value of travel time savings: a report of research undertaken for the Department of Transport", Policy Journals, Newbury, England.
- MVA Consultancy y ITS Leeds (1992): "Quality of a journey: final report", Informe para el U.K. Department of Transport, contract n.º 02/C/5274.
- Noland, R.B. y J.W. Polak (2002): "Travel time variability: a review of theoretical and empirical issues", *Transport Reviews* vol. 22, n.º 1, págs. 39-54.
- Oum, T.H., Waters, W.G. y J.S. Jong (1992): "Concepts of price elasticities of transport demand and recent empirical estimates", *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 26, n.º 2, págs. 149-168.
- Quinet, E. y R. Vickerman (2004): *Principles of Transport Economics*. Edwar Elgar.

- Saelensmid, K. (2004): "The Impact of Choice Inconsistencies in Stated Choice Studies", *Environmental and Resource Economics*, vol. 23, págs. 403-420.
- Small, K.A. (1997): "Economics and Urban Transportation Policy in the United States", *Regional Science and Urban Economics*, vol. 27, págs. 671-691.
- Small, K.A., Noland, R., Chu, X. y D. Lewis (1999): "Valuation of travel-time savings and predictability in congested conditions for highway user-cost estimation", NCHRP Report n.º 431, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Small, K.A., Winston, C. y J. Yan (2002): "Uncovering the distribution of motorists' preferences for travel time and reliability: implications for road pricing", Working-Paper, n.º 546, University of California Transportation Centre.
- The Highways Agency (2002): "The Design Manual for Roads and Bridges (vol 13): Economic assessment of road schemes", Department of Transport, The COBA Manual.
- Train, K. (1976): "Work trip mode split models: an empirical exploration of estimate sensitivity to model and data specification", Working Paper n.º 7602, Urban Travel Demand Forecasting Project, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.
- UNITE (2004): "Final Report for Publication", University of Leeds ([www.its.leeds.ac.uk/research/index.html](http://www.its.leeds.ac.uk/research/index.html)).
- Wardman, M. (1998): "The value of travel time: a review of British evidence", *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 32, n.º 3, págs. 285-316.
- Waters, W.G. (1992): "Values of travel time savings and the link with income", Paper presented at the Annual Meeting of the Canadian Transportation Research Forum, Banff, Alberta.

*Fecha de recepción del original: octubre, 2006*

*Versión final: marzo, 2008*

#### ABSTRACT

This paper shows the importance of estimating the value of time under congestion for car users separately from total travelling time. For an average trip in the corridor analysed, we obtain that users' valuation of a minute under congestion is 140% above that without traffic jams. We have designed an experiment based on a stated preference approach for one of the main access roadways to Madrid, the Levante corridor. On this route, car users can choose, for the last 33 km entering Madrid, between a very fast toll roadway where there is no congestion and a free but slower roadway with significant congestion problems at peak hours. The potential benefits in the transportation system associated with different reductions in toll levels have been evaluated. These benefits would come from the decrease in total travelling time, the decrease in congestion on the toll roadway and from the savings in fuel consumption.

*Key words:* value of time, congestion, transport.

*JEL classification:* R41, R48.