

HABIT O CÓMO MEDIR LA SUBJETIVIDAD EN LA MOVILIDAD EN TRANSPORTE URBANO

Julio Comendador

Investigador, TRANSyT-UPM, España

Floridea Di Ciommo

Profesora Doctora, TRANSyT-UPM, Italia

María Eugenia López-Lambas

Profesora Titular, TRANSyT-UPM, España

RESUMEN

Tradicionalmente en los modelos de transporte, las variables explicativas de la elección modal del usuario se reducen a las variables objetivas (coste del transporte, tiempo de viaje, etc.). Sin embargo, la literatura más reciente reconoce que el perfil del usuario así como sus percepciones, influyen también en la elección modal. Por ello, antes de formular un modelo de demanda de transporte, es conveniente integrar factores más subjetivos (percepciones y actitudes) de los usuarios del sistema de transporte.

Para evaluar dicha influencia se ha optado por realizar una encuesta en las nuevas estaciones de la línea 2 de Metro, al Sureste de Madrid. Será una manera de medir la consistencia de los hábitos cuando una nueva infraestructura de transporte como el Metro se pone en marcha.

La toma de datos se realiza a través de encuestas de preferencias reveladas a los usuarios del nuevo Metro. Gracias a dicha encuesta se puede conocer el anterior modo de viaje utilizado por los usuarios para realizar el mismo trayecto, por lo que se dispone de datos para evaluar el cambio de modo. En concreto, el encuestado responde a preguntas sobre el motivo del viaje, la disponibilidad de vehículo propio y el motivo principal para cambiar de modo. La encuesta de movilidad realizada en la nueva infraestructura permite recoger para desarrollar una metodología capaz de estimar los efectos de *shock* e inercia del cambio modal.

Este artículo utiliza modelos de elección discreta integrando variables cuantitativas (coste del viaje, por ejemplo) y cualitativas (motivo del cambio modal) para explicar la elección modal. Los primeros resultados muestran que los viajes obligados (trabajo y estudios) que antes del Metro se realizaban en coche, presentan poca resistencia al cambio.

Palabras clave: *Hábitos de movilidad, cambio modal, motivo de viaje, efecto inercia.*

1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista de la Teoría Económica, se puede considerar que los Modelos de Elección Discreta (MED) se enmarcan dentro del análisis microeconómico de comportamiento individual cuyos fundamentos para el transporte estableció McFadden (1974, 1981). De esta manera, se supone que cada individuo j tiene una función de utilidad determinística definida por cada alternativa i .

Para estudiar la demanda de transporte, además de los estudios tradicionales basados en encuestas origen y destino, se utilizan MED contruidos sobre la Teoría de la Utilidad Aleatoria (TUA), que permiten abordar experimentalmente el problema de modelización en el contexto de elección discreta (Train, 2003). En estos modelos se considera que el agente decisor se comporta de forma racional intentando maximizar una función de utilidad de tipo estocástico, lo que lleva a introducir una componente probabilística.

Los planificadores del transporte se interesan por el análisis de la demanda de transporte en un instante temporal concreto y en los factores que determinan la elección modal para poder prever más fácilmente el impacto de nuevas políticas de transporte, o de otros elementos que afectan a las redes y servicios (Walker y Li, 2007). Factores objetivos como la disminución en el tiempo de viaje, ahorro de coste, nuevo lugar de residencia, nuevo trabajo, aumento de los ingresos familiares, aumento del número de personas en el hogar, etc., pueden ser origen del cambio modal, como también factores subjetivos que tienen que ver con las percepciones individuales (confort o seguridad), cuyo efecto ha sido estudiado utilizando datos de movilidad de encuestas de tipo *panel* (Daganzo y Sheffi, 1979; Duncan, 1992).

En este artículo se utilizan datos de una encuesta a usuarios de las nuevas estaciones de la línea 2 del Metro de Madrid, inauguradas en marzo de 2011. Se trata de usuarios que, en su mayor medida, realizaban anteriormente el mismo trayecto pero empleando otro modo de transporte. El objetivo fundamental del análisis es entender los factores (objetivos y subjetivos) que generan el cambio modal cuando una nueva infraestructura se pone en marcha. Los resultados constituyen el punto de partida de la encuesta *panel* de movilidad que se realiza con Smartphones en una fase siguiente. La encuesta panel planteada recoge datos de viajeros en distintos periodos temporales e incluye preguntas sobre las percepciones o factores subjetivos.

En los apartados siguientes se plantea el problema a partir del estado del arte para, a continuación, presentar el diseño de la encuesta de movilidad. Posteriormente, se describen las características generales de movilidad de los usuarios de las nuevas estaciones de metro

y los resultados del MED para, finalmente, recoger las conclusiones más relevantes con respecto al análisis del cambio modal.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ampliación de la red de transporte público que ha llevado a cabo la Comunidad de Madrid se enmarca dentro de una estrategia a largo plazo. Hoy en día se sigue apostando por el Metro, un modo de transporte que, inaugurado en 1919, se ha convertido en un elemento clave y cotidiano para la movilidad del Área Metropolitana de Madrid. El “Plan de ampliación de la red de metro de Madrid 2007-2011” se concluyó con la inauguración en marzo del 2011 de las nuevas estaciones de la línea 2.

La inauguración de una nueva infraestructura de red de transporte plantea un reto de evaluación social, que debe responder a tres preguntas:

- *¿Obedece la nueva red de transporte a una necesidad real de movilidad?*
- *¿De qué manera se ha realizado el trasvase modal?*
- *¿Cuál es el perfil del usuario de las nuevas líneas de transporte?*

Investigaciones recientes demuestran que hay factores que, a lo largo del tiempo, distorsionan positiva o negativamente el uso de un modo de transporte, y que invalidan en parte la formulación clásica de la teoría de la utilidad aleatoria (Cantillo et al, 2007; Yáñez et al, 2009). Básicamente, se trata de dos:

- Efecto inercia: resistencia que opone el individuo al cambio de modo de transporte, frente a la oferta de uno nuevo.
- Efecto *shock*: novedad que presenta para el individuo un nuevo modo de transporte.

La encuesta a usuarios ha sido formulada para conocer el modo utilizado antes de la apertura de las nuevas estaciones de metro, así como los factores que han influido en el cambio entre el antiguo y el nuevo modo de transporte. La muestra incluye solamente personas que ya están utilizando las nuevas estaciones de Metro, pero aporta una información de Preferencias Reveladas (PR) muy útil a la hora de explicar el cambio modal ante una nueva infraestructura (Cherchi y Ortúzar, 2002).

Para establecer un punto de partida de esa futura encuesta *panel* citada en el apartado anterior, interesa saber hasta qué punto es más probable que el usuario elija la alternativa anterior. Se trata de medir con un MED la inercia o resistencia al cambio del modo Metro.

3. DISEÑO DE LA ENCUESTA

Para poder valorar el impacto causado por la ampliación de las nuevas estaciones de metro de la línea 2, el Consorcio de Transportes de la Comunidad de Madrid llevó a cabo una encuesta de preferencias reveladas a usuarios en las estaciones de La Almudena, Av. Guadalajara, Alsacia y Las Rosas. El cuestionario se estructura en dos apartados:

- Un primer apartado sobre las características del viaje actual y algún indicador de las características socio-económicas del usuario.
- Un segundo apartado sobre las características del viaje antes de la ampliación del metro, y el motivo principal de cambio modal (confort, seguridad, etc.).

El objetivo de la encuesta (con un total de 1174 encuestados) era averiguar los factores más influyentes en el cambio modal. En concreto, se han introducido para ello ciertas variables subjetivas (comodidad, seguridad, modernidad, por ejemplo) sobre las decisiones de los viajeros.

4. ANÁLISIS DE LA ENCUESTA

Antes de presentar los resultados obtenidos en el tratamiento de los datos de las encuestas, es preciso analizar cómo ha variado el número total de usuarios de la línea 2 antes y después de la ampliación, así como de cada una de las líneas de autobuses que hacían el mismo recorrido y que se han visto afectadas directamente por las nuevas estaciones de metro. Seguidamente, se detallan algunas características socio-económicas y de movilidad de los encuestados.

4.1. Usuarios de Transporte Público en las zonas de estudio (marzo-abril)

La Figura 1 muestra el aumento en el número total de viajeros de la línea 2 como consecuencia de la inauguración de las cuatro nuevas estaciones. En concreto, el número medio de viajeros al día pasa de 106.268 (antes) a 116.622 (después). Hay que tener en cuenta que la línea 2 pasó de tener 16 a 20 estaciones.

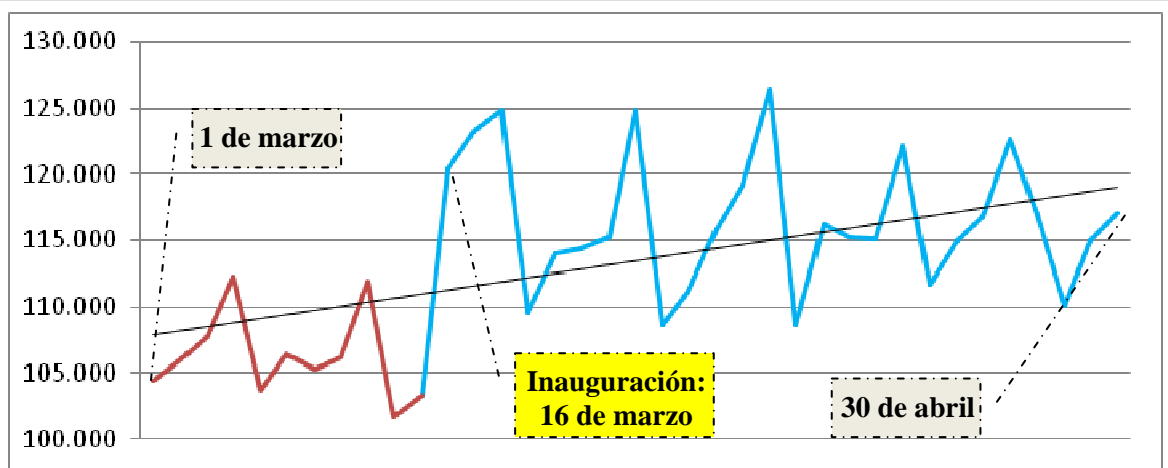


Fig. 1 – Número de viajeros diarios en la línea 2 (marzo-abril)

Para conocer la procedencia de los nuevos usuarios de Metro en las líneas inauguradas, se manejaron los datos de viajeros diarios en las líneas de autobuses de la EMT (Empresa Municipal de Transportes de Madrid) cuya ruta atraviesa transversalmente las nuevas estaciones de Metro.

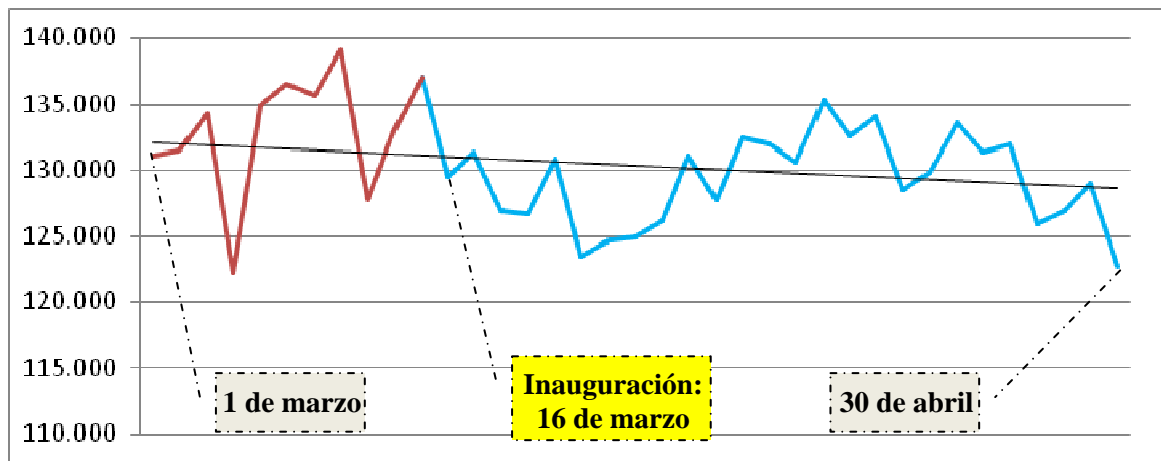


Fig. 2 – Número de viajeros diarios en líneas de autobús EMT cercanas a la ampliación de la línea 2 (marzo-abril): 70, 106, 140, E2

Comparando el número total de viajeros de las líneas de autobús EMT 70, 106, 140 y E2, se observa un descenso medio de 3.767 viajeros al día. Dado que en el estudio de los viajeros de la línea 2 de Metro se comprobó que el número de estos había aumentado en más de 10.000, se puede concluir que se produjo un traspaso modal no solo de los usuarios de transporte público, sino también del vehículo privado, junto con un porcentaje de nuevos viajeros que antes no hacían el viaje.

4.2. Características socio-económicas y de movilidad

Las respuestas de los 1174 encuestados fueron analizadas al objeto de caracterizar la muestra e identificar las variables explicativas que ayuden a entender el cambio en la

elección modal ante la nueva infraestructura.

La breve encuesta de movilidad realizada permite caracterizar el encuestado según sea hombre o mujer y disponga o no de coche. Por otro lado, al realizarse en el andén de la estación de metro, no cabía la posibilidad de un cuestionario largo, por lo que se solicitaron pocos datos relativos a las características sociales de la persona a quien se preguntaba.

Del total de encuestados en la línea 2 el 56% eran mujeres y el 44% hombres. El 52% disponía de vehículo privado.

La primera pregunta que se formuló era acerca del motivo del viaje. En las estaciones de la línea 2 el 48% eran motivo *trabajo*, el 15% *estudios*, el 4% *médico* y el 33% *ocio-compras*. La gran cantidad de institutos de secundaria en la zona del sur de San Blas y Ciudad Lineal explica que el porcentaje de viajes por motivo *estudios* en la línea 2 sea elevado.

Es importante hacer notar que la encuesta no tiene nada que ver con una encuesta de movilidad de preferencias declaradas, donde se pregunta por el modo utilizado al inicio o al final de un viaje. En este caso, todos son usuarios de metro en ese preciso momento, pero un mes antes realizaban el viaje en otro modo de transporte. Además, el modo anterior de transporte o han dejado de usarlo, o lo usan ocasionalmente (Tabla 1). Por tanto, como lo que se pretende estudiar es el cambio de modo, analizando las causas y sus efectos, las respuestas a las preguntas *¿cómo realizaba este trayecto?* (Figura 3) y *¿sigue utilizando su anterior modo de transporte?* (Tabla 1) son de especial interés para la posterior formulación de los modelos de elección discreta.

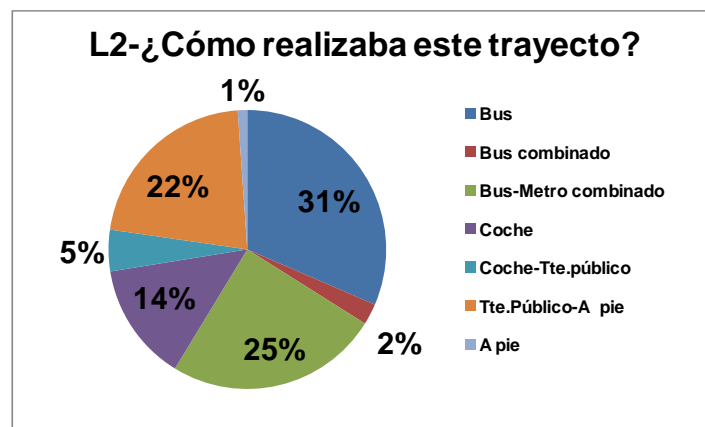


Fig. 3 – Modo de viaje utilizado por los encuestados antes de la ampliación de la línea 2 de metro

<i>¿Sigue utilizando el anterior modo de transporte?</i>	
No, ya sólo utilizo esta línea	76%
Sí, ocasionalmente	18%
Sí, combino ambas al 50%	5%
Utilizo esta línea el 75% de las ocasiones	1%
Utilizo la forma anterior el 75% de las ocasiones	1%

Tabla 1 – Grado de utilización del anterior modo de transporte en relación con el uso de las nuevas estaciones de metro

Los resultados anteriores indican que se ha producido un fuerte cambio modal, aunque solo el 19% de los viajes anteriores estaban directamente relacionados con el coche (14% solo coche y 5% coche-transporte. público).

A pesar de la sencillez del modelo de encuesta expuesto en el apartado 3, al nuevo usuario de metro se le hacía una pregunta clave para evaluar la razón *subjetiva* (o no) que le había llevado a cambiar de modo de transporte. Las posibles respuestas a la cuestión *¿por qué ha cambiado a la nueva línea de metro?* eran: comodidad, rapidez, modernidad, economía u otros.

A través de esta pregunta se trata de averiguar las percepciones ante las nuevas mejoras. A partir de ahí, se plantea la integración de variables más subjetivas en el posterior análisis del MED.

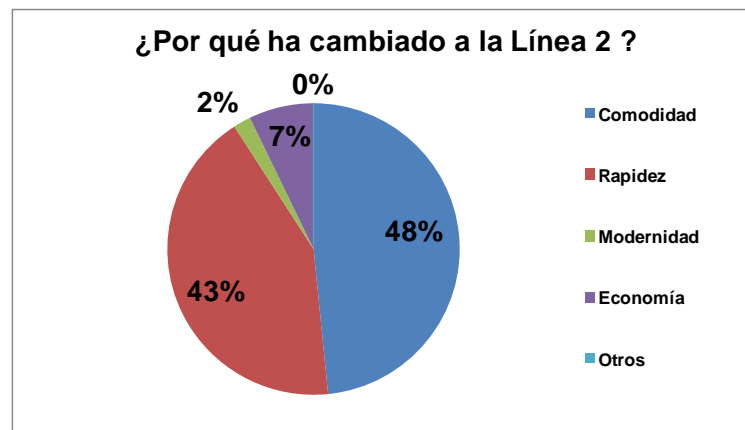


Fig. 4 – Percepciones del usuario de las nuevas estaciones de metro

En la Figura 4 se observa que los principales motivos para el cambio de modo de transporte son, por orden de importancia, comodidad y rapidez.

5. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE LOS DATOS: MODELOS DE ELECCIÓN DISCRETA

Según la TUA expuesta en la introducción, no existe ninguna especificación de un modelo probabilístico que se pueda considerar a priori superior, por lo que serán las condiciones particulares del problema objeto de estudio las que lleve a definir y decidir cuál será la forma de la función de utilidad, respecto de la cual se ha adoptado una de tipo lineal en los parámetros, aunque existen otras especificaciones alternativas (Ben-Akiva, 1985).

Por la naturaleza de la encuesta realizada a los nuevos usuarios de las estaciones de la línea dos de metro de Madrid, los autores consideraron que la teoría de los Modelos de Elección Discreta (MED) era la más apropiada para estudiar la elección del modo de viaje, mediante la definición de una función de utilidad que midiera el cambio en función de unas variables explicativas que ayudaran a entender éste fenómeno.

En este capítulo se hace un breve repaso del estado del arte en materia de MED, para pasar a la definición de los modelos aplicados al caso de estudio presentado en los apartados anteriores, y a la interpretación de los resultados mediante la utilización del paquete estadístico SPSS[®]v18.

5.1 Marco Teórico

Para un individuo j y para cada alternativa i la función de utilidad se expresa como la suma de un término conocido por el modelador y otro aleatorio:

$$U_{ij} = V_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

V_{ij} representa la parte medible, que es función de variables explicativas. Cuando las alternativas con las que se enfrenta el individuo son los distintos medios de transporte, las variables explicativas más importantes suelen clasificarse en socioeconómicas (ingreso, edad, residencia habitual, sexo), de niveles de servicio (tiempo de viaje, coste del transporte), y relativas a la calidad del transporte, es decir, variables subjetivas.

La maximización de la utilidad sobre las alternativas supone, por tanto, que el individuo j elegirá la alternativa i siempre que: $U_{ij} \geq U_{kj} \forall k \neq i$, luego: $V_{ij} - V_{kj} \geq \varepsilon_{kj} - \varepsilon_{ij}$, donde el término $(\varepsilon_{ij} - \varepsilon_{kj})$ es desconocido por el modelador, por lo cual no se puede comprobar si la desigualdad anterior se cumple con certeza, razón por la cual se le debe asignar una probabilidad (Ortúzar y Willumsen, 2001):

$$P_{ij} = Prob\{\varepsilon_{kj} \leq \varepsilon_{ij} + V_{ij} - V_{kj}, \forall k \neq i\} = Prob\{U_{ij} - U_{kj} \geq 0, \forall k \neq i\} \quad (2)$$

A partir de esta Teoría de la Utilidad Aleatoria, aparecen los distintos modelos de elección (Logit binomial o multinomial, Logit Jerárquico, Logit Mixto, Probit binomial o multinomial, etc.) que sirven para estudiar el comportamiento de los usuarios en el

momento de elegir un modo de transporte, en función del distinto trato que se dé a la variable ε_{ij} . El modelo base normalmente utilizado en estimación de demanda de transporte es el Logit Multinomial (MNL), que es el que mejor se ajusta al caso de estudio aquí presentado debido a la sencillez de la encuesta.

En los modelos MNL se asume que los valores desconocidos ε_{ij} son idéntica e independientemente distribuidos (IID) con una función Gumbel (McFadden, 1974), de tal forma que la probabilidad de que el individuo j elija la i -ésima alternativa está dada por:

$$P_{ij} = \frac{\exp(\beta V_{ij})}{\sum_{k=1}^I \exp(\beta V_{kj})} \quad (3)$$

donde V_{ij} es normalmente una función lineal en sus parámetros y β es inestimable por separado, por lo que debe ser normalizado.

Por otra parte, si en un instante temporal posterior ($t+1$) ocurren cambios en alguno de los atributos de las alternativas y se quiere evaluar la probabilidad de que el individuo cambie de la alternativa i a una r , se tiene (Cantillo et al, 2007):

$$P_{rj}^{t+1} = Prob \left\{ \begin{array}{l} U_{rj}^{t+1} - U_{ij}^{t+1} \geq I_{irj}^{t+1} \quad y \quad U_{rj}^{t+1} - U_{kj}^{t+1} \geq I_{irj}^{t+1} - I_{ikj}^{t+1} \\ \forall k \neq i, \quad k \neq r \end{array} \right\} \quad (4)$$

donde I_{irj}^{t+1} es la inercia, o la resistencia que opone el individuo al cambio de la alternativa i a la r . De acuerdo con esto, se puede reestructurar la definición de la función de utilidad inicial según la ola temporal w en la que se encuentre el individuo j :

$$\widetilde{U}_{rj}^w = U_{rj}^w - I_{irj}^w \quad (5)$$

De la misma manera, si existe un cambio de alternativa, la utilidad de esta nueva alternativa r también estará influenciada positivamente por el efecto *shock* (S_{rj}^w), o la novedad que presenta para el individuo la nueva alternativa. Luego esta nueva función no depende de la alternativa anterior. La nueva definición de la función utilidad es (Yáñez et al, 2009):

$$\widetilde{U}_{rj}^w = U_{rj}^w - I_{irj}^w + S_{rj}^w \quad (6)$$

donde:

- $I_{irj}^w = f_I(V_{rj}^{w-1} - V_{ij}^{w-1}) = f_I(\Delta V_I)$; es decir, que la inercia del individuo j del cambio de la alternativa i a la r es función de la variación de utilidad entre alternativas en una fase temporal anterior ($w-1$), y:

- $S_{rj}^w = f_S(V_{rj}^w - V_{rj}^{w-1}) = f_S(\Delta V_S)$; es decir, que el *shock* que presenta para el individuo j la nueva alternativa r es función de la variación de utilidad de esa alternativa entre la ola de estudio (w) y una ola anterior ($w-1$).

5.2 Definición del modelo y de las variables explicativas

Todo estudio que pretenda medir el cambio de modo de transporte, necesita ampliar el concepto de la TUA (McFadden, 1974) incorporando los parámetros que midan la inercia y el *shock* del usuario ante ese cambio.

Como se ha indicado anteriormente, con los datos de que se dispone se puede medir la resistencia al cambio (efecto inercia) entre modos de transporte, ya que se tiene la información del trayecto del viaje realizado por cada individuo en dos modos distintos.

Gracias a los resultados de la encuesta se conoce, por cada viaje de un individuo j :

- Alternativa pre-apertura (i): respuesta a la pregunta *¿cómo realizaba este trayecto?* (bus, bus combinado, bus-metro combinado, coche, coche-transporte público, transporte público-a pie).
- Alternativa post-apertura (r): Metro.
- Tiempos de viaje ($TVIA_{ij}, TVIA_{rj}$): con la información de la estación de entrada y de salida, así como de los distintos modos usados en los casos de transporte combinado, se han podido medir los tiempos de viaje gracias a las aplicaciones web: *Google Maps* (©2012 Google), *EMT Navega por Madrid* (©2010 Empresa Municipal de Transportes de Madrid, S.A.) y *Viaja en Metro* (©2012 Metro Madrid).
- Coste de viaje ($COST_{ij}, COST_{rj}$): se ha estimado un coste de 0,90€ por viaje en transporte público, y un coste del viaje en vehículo privado por cada trayecto y usuario, utilizando la información de la propia encuesta completada con otras referencias y bases de datos (Di Ciommo et al., 2010; aplicación *Google Maps*, ©2012 Google).

Incluyendo información de otras variables explicativas complementarias de las alternativas (z_{ij})

- A partir del análisis descriptivo de los datos, los usuarios declaran haber cambiado de modo por la Comodidad en el 48% de los casos. Por lo tanto se elige la variable comodidad (COM_{ij}) como variable explicativa subjetiva en función de la respuesta a la pregunta *¿por qué ha cambiado a la nueva línea de metro?* (comodidad, rapidez, modernidad, economía, otros).
- Motivo del viaje (MV_{ij}): trabajo, estudios, médico, ocio, compras, acompañar.

En cuanto a las características socioeconómicas (s) del individuo se identifican las siguientes variables:

- Sexo ($SEXO_j$).
- Disponibilidad de vehículo propio (VP_j).

En definitiva, se pretende medir la inercia o resistencia al cambio de una alternativa inicial (i) con respecto a otra (r):

$$\Delta V_{I_{ij}} = V_{rj} - V_{ij} = \beta_i + \beta_C(COST_{rj} - COST_{ij}) + \beta_T(TVIA_{rj} - TVIA_{ij}) + \beta_{S_i}S_j + \beta_z z_{ij} \quad (7)$$

La estimación del modelo de elección discreta se realizó con el software SPSS, buscando un modelo que otorgase mejores especificaciones. Los valores de las variables explicativas principales (tiempo y coste) fueron incluidos directamente en el modelo tal y como indicaba la formulación anterior, mientras que el resto de las variables (S_j , z_{ij}) se incorporaron como variables *dummy*. La Tabla 2 resume los valores adoptados para este tipo de variables.

Variable	Sigla	Valor 1	Valor 0
Sexo	$SEXO_j$	Hombre	Mujer
Disponibilidad de vehículo propio	VP_j	Sí	No
Motivo del viaje: Trabajo	MVT_{ij}	¿Motivo del viaje? Trabajo	¿Motivo del viaje? Estudios, médico, compras, ocio
Motivo del viaje: Estudios	MVE_{ij}	¿Motivo del viaje? Estudios	¿Motivo del viaje? Trabajo, médico, compras, ocio
Comodidad	COM_{ij}	¿Por qué ha cambiado? Comodidad	¿Por qué ha cambiado? Rapidez, Economía, Otros

Tabla 2 – Definición de variables *dummy* para la modelización

Dada la imposibilidad de determinar a priori cuál es el modelo a utilizar, por tratarse de un trabajo de prueba para elegir el mejor modelo explicativo, se intentó primero una calibración sin incluir ninguna de las variables *dummy*, sin resultados satisfactorios. De esta manera, se fueron incluyendo variables tanto socioeconómicas ($SEXO_j$, VP_j) como de atributos de alternativas, diferenciando en estas últimas los viajes obligados por motivo *trabajo* de los motivo *estudios* (MVT_{ij} , MVE_{ij} , COM_{ij}).

Otra cuestión de importancia a la hora de especificar el modelo, es el número de alternativas i anteriores a la ampliación de las líneas de Metro que se iba a considerar. En un primer momento, se pensó en plantear un Logit Multinomial (MNL) con las siguientes agrupaciones de alternativas en función de la respuesta a la pregunta *¿cómo realizaba este trayecto?*: (1) Transporte Público: bus, bus combinado, bus-metro combinado y transporte público-a pie; (2) coche-transporte público; (3) coche. Los resultados presentaban correlaciones entre las variables de las alternativas (2) y (3), por lo que se decidió utilizar un modelo Logit Binomial (BNL) que distinguiera los viajes en los que no se utilizaba el vehículo privado y los que sí. El conjunto del experimento de elección se conformó, por

tanto, según dos alternativas: transporte público (1) y transporte privado (2). Se verificó, asimismo, que el conjunto de elección fuese mutuamente excluyente, exhaustivo y finito (Train, 2003).

La comparación de los dos modelos equivalentes considerados (MNL o BNL) se hizo con el test de razón de verosimilitud (LR), que indica que cuando $LR \leq \chi_{r,\alpha}^2$ se debe preferir el modelo restringido en lugar del más complejo. Para la comparación de los modelos no equivalentes se utilizó el índice R^2 de Cox y Snell ($\rho^2 = 1 - \frac{l^*(\theta)}{l^*(C)}$) siendo $l^*(\theta)$ la log-verosimilitud en convergencia del modelo estimado, y $l^*(C)$ la log-verosimilitud del modelo al especificar sólo constantes. Este valor, comprendido entre 0 y 1, permite comparar distintos modelos y muestras.

5.3 Resultados del modelo

Los datos de 1174 viajes de nuevos usuarios de la línea 2 permitieron calibrar un modelo Logit Binomial (BNL) que midiera el efecto inercia producido en los nuevos usuarios de metro que anteriormente utilizaban otro modo de transporte público (Alternativa 1), o en los usuarios de transporte privado (Alternativa 2).

Las variables de entrada fueron: diferencia de tiempos de viaje ($TVIA_{rj} - TVIA_{ij}$), diferencia de coste ($COST_{rj} - COST_{ij}$), sexo ($SEXO_j$), disponibilidad de vehículo propio (VP_j), motivo del viaje (MVT_{ij}, MVE_{ij}) y comodidad (COM_{ij}).

Con el paquete estadístico SPSS[®]v18 se puede elegir el método para seleccionar variables en el modelo: método “introducir”, que permite decidir las variables que se introducen o se extraen del modelo; el método “atrás”, que parte de un modelo con todas las covariables de entrada introducidas y va eliminando aquellas sin significación estadística; y el método “adelante”. Los autores consideraron este último, que permite que el programa vaya introduciendo variables en el modelo, empezando por aquellas que tienen coeficientes de regresión más grandes, estadísticamente significativos. Además, se puede elegir entre tres criterios para adoptar “decisiones estadísticas”: razón de verosimilitud (RV), condicional y Wald. Siendo cualquiera de ellos correcto, se decidió el criterio RV por ser el más común.

En la figura 5 se presentan los resultados del modelo BNL, que ha tomado como referencia la alternativa 2, que representa la inercia al cambio de los antiguos usuarios de transporte privado. Por ello, un coeficiente de correlación positivo indicará que la inercia o “resistencia al cambio de modo” del antiguo usuario de transporte privado aumentará.

Variables en la ecuación									
		B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	I.C. 95% para EXP(B)	
								Inferior	Superior
Paso 1 ^a	TVIA	,287	,019	221,591	1	,000	1,333	1,283	1,384
	Constante	-1,397	,146	91,099	1	,000	,247		
Paso 2 ^b	TVIA	,268	,020	179,450	1	,000	1,307	1,257	1,360
	VP	3,143	,511	37,781	1	,000	23,175	8,507	63,139
	Constante	-3,875	,494	61,516	1	,000	,021		
Paso 3 ^c	TVIA	,255	,020	165,098	1	,000	1,290	1,241	1,341
	COST	-1,628	,580	7,882	1	,005	,196	,063	,612
	VP	3,193	,530	36,338	1	,000	24,367	8,628	68,818
	Constante	-3,985	,511	60,704	1	,000	,019		
Paso 4 ^d	TVIA	,258	,020	163,774	1	,000	1,294	1,244	1,346
	COST	-1,629	,565	8,313	1	,004	,196	,065	,593
	VP	3,339	,550	36,892	1	,000	28,199	9,600	82,834
	MVTrabajo	-,848	,321	6,980	1	,008	,428	,228	,803
	Constante	-3,714	,530	49,136	1	,000	,024		
Paso 5 ^e	TVIA	,267	,021	158,144	1	,000	1,305	1,252	1,361
	COST	-1,903	,613	9,631	1	,002	,149	,045	,496
	VP	3,491	,564	38,242	1	,000	32,804	10,851	99,173
	MVTrabajo	-1,431	,364	15,419	1	,000	,239	,117	,488
	MVEstudios	-2,177	,566	14,772	1	,000	,113	,037	,344
	Constante	-3,312	,537	38,034	1	,000	,036		

a. Variable(s) introducida(s) en el paso 1: TVIA.
b. Variable(s) introducida(s) en el paso 2: VP.
c. Variable(s) introducida(s) en el paso 3: COST.
d. Variable(s) introducida(s) en el paso 4: MVTrabajo.
e. Variable(s) introducida(s) en el paso 5: MVEstudios.

Fig. 5 – Resultados del modelo BNL con las variables que tienen coeficientes estadísticamente significativos

Se puede comprobar cómo el programa reevalúa en cada paso (1, 2, 3, 4 y 5) los coeficientes y su significación, eliminando del modelo aquellos que no considera estadísticamente significativos. De esta manera, han quedado fuera del modelo las variables sexo ($SEXO_j$) y comodidad (COM_{ij}), lo que significa que la variable subjetiva comodidad no es explicativa en el modelo según la formulación realizada. Para algunos autores (Espino et al., 2004), la variable *comodidad* aparece interactuando con el tiempo de viaje, no como variable *dummy* independiente según se ha definido en este estudio. En este caso habría que especificar el modelo con otro programa (BIOGEME 1.8, por ejemplo).

A partir de los resultados presentados en la figura 6 se puede modificar la ecuación de partida (7) para explicar el efecto inercia que mide el cambio de utilidad de un antiguo usuario j de la alternativa i :

$$\Delta V_{ij} = V_{rj} - V_{ij} = \beta_i + \beta_C(COST_{rj} - COST_{ij}) + \beta_T(TVIA_{rj} - TVIA_{ij}) + \beta_{VP_i}VP_j + \beta_{MVT}MVT_{ij} + \beta_{MVE}MVE_{ij} \quad (8)$$

En el modelo anterior, una variable con un coeficiente β positivo indicará que un aumento en la misma significará que es más probable elegir la alternativa anterior, es decir que aumenta la inercia.

Analizando variable por variable, se observa que existe una mayor inercia o resistencia del usuario de transporte privado al nuevo modo de transporte Metro cuando los tiempos de viaje en este nuevo modo son mayores ($\beta_T = 0,267$) y se dispone de vehículo privado ($\beta_{VP} = 3,495$). En cambio, el hecho de que el Metro sea de media más económico que el vehículo privado (0,90€ frente a un rango de entre 0,70€ y 3,10€ en el caso del coche), implica un coeficiente negativo en la ecuación anterior ($\beta_C = -1,903$). Por último, los viajes obligados (trabajo y estudios) disminuyen la resistencia al cambio (efecto inercia) de modo entre el coche y las nuevas infraestructuras de Metro ($\beta_{MVT} = -1,431$; $\beta_{MVE} = -2,177$) (Ben-Akiva y Bierlaire, 1999).

6. CONCLUSIONES

Los datos obtenidos en la encuesta de movilidad a usuarios de las nuevas estaciones de la línea 2 de metro de Madrid, permiten explicar el cambio modal partiendo de las investigaciones más recientes, que consideran los efectos *shock* e inercia como principales variables explicativas de la función de utilidad del individuo respecto a la elección modal.

A partir de ahí, el análisis descriptivo de los datos de la encuesta de movilidad del Metro (Figura 1), junto con los datos de variación del número de viajeros de la EMT (Figura 2) permiten intuir que hay un *efecto novedad positivo* en el cambio de modo de transporte, ya que se produce un traslado inmediato, desde el primer día de la inauguración, de antiguos usuarios de autobuses de la EMT hacia el nuevo modo de transporte que proporciona Metro. Dicha movilidad nunca aumenta en el tiempo: como mucho, se mantiene. Para futuras investigaciones, los autores plantean analizar el efecto novedad del traslado de viajeros del bus al metro, partiendo de la literatura sobre el efecto *shock* (Yáñez et al., 2009).

Por otro lado, a través del modelo BNL se analiza la inercia o resistencia, que es función de la diferencia de utilidad entre dos modos. Por tanto se ha podido medir la diferencia de utilidad que supone el cambio al modo metro respecto de antiguos usuarios de transporte público (alternativa 1) y de coche (alternativa 2).

En este punto habría que destacar lo siguiente:

- Una de las causas que más contribuye a dificultar un posible cambio de modo - es decir, la inercia-, tiene que ver con el aumento del tiempo de viaje que se produce con el nuevo modo respecto al antiguo.
- En cambio, el menor coste de media que supone un viaje en Metro en comparación con el coche en los viajes de media-larga distancia dentro de

Madrid, y el motivo de viaje *obligado* (trabajo y estudios), disminuyen esa resistencia al cambio del modo transporte privado a transporte público.

- Por otro lado, los viajes *no obligados* (ocio, compras, acompañar) que se hacían en coche, ofrecen más resistencia al cambio modal.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría de Estado de Ciencia e Innovación (Proyecto HABIT del Plan I+D 2011-2013) el apoyo financiero prestado; al Consorcio Regional de Transportes de Madrid y, más concretamente a Francisco Javier Gómez, por su disposición a facilitar los datos de movilidad solicitados; a la doctora Lissy La Paix por sus comentarios al artículo; y a Wemming Shen, estudiante de la Universidad Tongi (Shangai) por su colaboración en el tratamiento de datos.

REFERENCIAS

BEN-AKIVA, M. y LERMAN, S. R. (1985). *Discrete Choice Analysis*. Cambridge, MA: MIT Press.

BEN-AKIVA, M. y BOCCARÀ, B. (1995). Discrete Choice Models with Latent Choice Sets. *International Journal of Research in Marketing*, 12, 9-24.

BEN-AKIVA, M. y BIERLAIRE, M. (1999). Discrete choice methods and their applications to short-term travel decisions. In R. Hall (ed.), *Handbook of Transportation Science*. International Series in Operations Research and Management Science, Kluwer, Dordrecht, Netherlands.

CANTILLO, V., ORTÚZAR, J. DE D. y WILLIAMS, H.C.W.L. (2007). Modelling discrete choices in the presence of inercia and serial correlation. *Transportation Science*, 41, 195-205.

CHERCHI, E. y ORTÚZAR, J. DE D. (2002). Mixed RP/SP models incorporating interaction effects: Modelling new suburban train services in Cagliari. *Transportation* 29 (371-395).

DAGANZO, C.F. y SHEFFI, Y. (1979). Estimation of choice models from panel data. *Proceedings 26th Annual Meeting of the Regional Science Association*, Los Angeles.

DI CIOMMO, F., MONZÓN, A. y COMENDADOR, J. (2010). Road transport Social Costs in Spain: a new rationale for pricing policy. *Proceedings 12th WCTR*, July 11-15, 2010 – Lisbon, Portugal

DUNCAN, G.J. (1992). Household panel studies: prospects and problems. *Working Paper 54, European Scientific Network on Household Panel Studies*, University of Essex.

ESPINO, R., ORTÚZAR, J.D. y ROMÁN, C. (2004). Diseño de Preferencias Declaradas para Analizar la Demanda de Viajes. *Estudios de Economía Aplicada*: 759-793. Vol.22-3.

KOCUR, G., ADLER, T., HYMAN, W. y AUNET, B. (1982). *Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment*. Report No. UMTA-NH-11-0001-82. Urban Mass Transportation Administration. US Department of Transportation, Washington, DC.

MCFADDEN, D. (1974). *The Measurement of Urban Travel Demand*. *Journal Public Economics*, Vol. 3, págs. 303-328.

MCFADDEN, D. (1981). Econometric Models of Probabilistic Choice. in C.F. Manski y D. McFadden (eds): *Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications*. MIT Press, Cambridge, MA.

ORTÚZAR, J. DE D. (2000). *Modelos Econométricos de Elección Discreta*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago.

ORTÚZAR, J. DE D. y WILLUMSEM, L.G. (2001). *Modelling Transport*. 3ª edición, John Wiley & Sons, Chichester.

TRAIN, K. (2003). *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge University Press, Cambridge.

YÁÑEZ, M.F., CHERCHI, E., ORTÚZAR, J. DE D. y HEYDECKER, B. (2009). Inertia and shock effects on mode choice panel data: Implications of the Transantiago Implementation. *12th International Conference on Travel Behaviour Research*. Jaipur, India, December, 2009.

WALKER, J.L. y Li. J. (2007). Latent lifestyle preferences and household location decisions. *Journal of Geographical Systems* 9, 77-101.

WEN, C.H. y LAI, S.C. (2010). Latent class models of international air carrier choice. *Transportation Research Part E* 46. 211-221.