

LOS MODELOS DESAGREGADOS EN LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE

Cristina Borra Marcos

Departamento de Teoría Económica y Economía Política. Universidad de Sevilla

Resumen:

En el estudio de la demanda de transporte se hace necesaria la consideración de una teoría operativa para la elección entre alternativas. Los modelos de elección discreta constituyen una poderosa herramienta para tal fin. Esta comunicación presenta las características fundamentales de este tipo de modelos, subrayando los fundamentos microeconómicos con que éstos cuentan, al tiempo que especifica el modo en que estas técnicas se han aplicado en el análisis de la demanda de transporte.

1.- Introducción.

La demanda de transporte se deriva de la demanda de las actividades que los individuos desean realizar en cada momento, como trabajar, realizar compras, atender a asuntos personales,... Es lógico pensar que el conjunto de actividades que desearía realizar una familia depende a su vez de sus características socioeconómicas, como sus ingresos totales o el número de miembros que trabaja. No obstante, el conjunto de actividades a las que pueden acceder queda determinado por las oportunidades que se les brinden, en parte restringidas por el patrón de localización urbana y las condiciones del sistema de transporte. Estas circunstancias configuran un entorno, en el que los individuos eligen qué actividades acometer y, en consecuencia, qué viajes realizar.

El proceso de elección es un proceso complejo en el que los agentes deben decidir muchas cuestiones relacionadas, como la frecuencia del desplazamiento, su destino, el momento para realizarlo, el modo de transporte a emplear,... La modelización de este conjunto de elecciones interrelacionadas no es tarea fácil. El tradicional enfoque secuencial, consistente en dividir la región de estudio en áreas geográficas y estudiar en éstas, de modo agregado, la generación, la distribución, el reparto modal y la asignación de rutas, no parece del todo adecuado.[\(1\)](#)

Los modelos desagregados de estimación de la demanda suponen un avance importante. Consideran los individuos o las familias, en lugar de las zonas geográficas, como unidad de observación y análisis [\(2\)](#). Parten de la idea de que la demanda de transportes se genera en el proceso de toma de decisiones individual, o, más concretamente, mediante la maximización de las preferencias por parte de los usuarios del sistema [\(3\)](#). En concreto, se supone que el individuo selecciona, de entre una serie de alternativas posibles, aquella que maximiza su utilidad. Dado que gran parte de las decisiones en materia de transportes se refieren a alternativas excluyentes, la perspectiva adoptada es la de los modelos de elección discreta.

Tanto Fischer [\(4\)](#) como Ortúzar y Willumsen [\(5\)](#) señalan una serie de útiles propiedades con las que cuenta este tipo de modelos:

En primer lugar, los modelos desagregados pretenden explicar el comportamiento individual. Se basan en teorías relativas a la conducta de los usuarios del sistema de transportes y no en analogías con leyes de la física, por lo que tienen mayores probabilidades de resultar relativamente estables en el espacio y en el tiempo.

En segundo lugar, estos modelos se estiman utilizando datos individuales, por lo que, por un lado, resultan más eficientes en términos de utilización de la información y, por otro, son menos propensos a presentar errores de agregación.

En tercer lugar, los modelos desagregados son probabilísticos, esto es, estiman la probabilidad de seleccionar cada alternativa, pero no cual de ellas se elige exactamente.

Y por último, dado que a cada variable explicativa le corresponde un coeficiente estimado, este tipo de modelos permite realizar adecuadas predicciones relativas a los efectos de diferentes medidas de política de transportes.

Como bien señala McFadden (6), los métodos desagregados de estimación de la demanda constituyen verdaderamente un enfoque o un marco conceptual para la generación de modelos. Éstos pueden ser tan completos o más que sus predecesores modelos secuenciales agregados o constituir únicamente la representación formal relativa a una cuestión empírica concreta.

2.-La teoría de la utilidad aleatoria

El paradigma teórico de los modelos desagregados está constituido por la teoría de la utilidad aleatoria. Su postulado fundamental radica en que la distribución de las demandas en una población es el resultado de la maximización de la utilidad individual; los agentes decisores cuentan con información perfecta y actúan racionalmente; no obstante, la utilidad de cada individuo es considerada una variable aleatoria debido a que el investigador no conoce con exactitud los atributos de las alternativas ni las características de los agentes (7).

A continuación se sugiere una posible formalización de esta teoría, basada fundamentalmente en Fischer (8) y Ben Akiva y Lerman (9), adaptada a las decisiones individuales en materia de transportes.

Considérese una población de Q agentes decisores q que puede segmentarse de acuerdo con una serie de características socioeconómicas en K categorías relativamente homogéneas. Cada individuo cuenta con una serie de opciones de viaje $j=1, \dots, J$, a las que confiere determinados valores para los distintos atributos Z_{jq} - tiempos de viaje, costes de transporte, atractivos de las distintas localidades, ...-. Los individuos además pueden presentar características socioeconómicas adicionales que resulten relevantes para las elecciones en materia de transportes S_q , como el nivel de renta, el número de vehículos privados poseídos o el tamaño familiar. En estas circunstancias, cada agente selecciona la alternativa que le reporta una mayor utilidad, esto es, se elige i si:

$$U(z_{iq}, S_q) \geq U(z_{jq}, S_q), \forall j \quad 2.1$$

Sin embargo, el analista no cuenta con información perfecta. Desde su punto de vista, la función de utilidad es una variable aleatoria (10). Y ello por varios motivos: En primer lugar, puede haber atributos de las opciones de transporte no observados adecuadamente por el investigador. En segundo lugar, es posible encontrar características socioeconómicas relevantes que no conozca el analista y que generen lo que se conoce como variaciones aleatorias de los gustos. Una tercera posibilidad es que aparezcan errores de medición. Y por último, puede darse el hecho de que determinados atributos deban considerarse a través de variables proxy o instrumentales (11).

Para el analista, la función de utilidad puede representarse mediante un componente sistemático o determinista V_{jq} , que es función de los atributos y las características observados y un componente aleatorio ε_{jq} , que refleja tanto las ideosincrasias individuales como el efecto de las variables incorrectamente observadas:

$$U(z_{jq}, S_q) = V(z_{jq}, S_q) + \varepsilon(z_{jq}, S_q) = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad 2.2$$

Desde su perspectiva, la elección de la alternativa i sucede si:

$$V_{iq} + \varepsilon_{iq} \geq V_{jq} + \varepsilon_{jq}, \forall j \quad 2.3$$

o, lo que es lo mismo, si:

$$V_{iq} - V_{jq} \geq \varepsilon_{jq} - \varepsilon_{iq}, \forall j \quad 2.4$$

Como el observador desconoce con exactitud el valor de $(\varepsilon_{jq} - \varepsilon_{iq})$, únicamente podrá obtenerse la magnitud de la probabilidad de que el usuario q seleccione la opción i, P_{iq} :

$$P_{iq} = \Pr[\varepsilon_{jq} \leq \varepsilon_{iq} + (V_{iq} - V_{jq}), \forall j] \quad 2.5$$

En este punto, se requiere concretar dos aspectos teóricos para lograr obtener un modelo operativo de la demanda de transporte. Por un lado, se necesita especificar la forma funcional del elemento determinista de la función de utilidad, V_{jq} . Por otro, hay que determinar la distribución de probabilidad conjunta de los términos de error, ε_{jq} . (12)

2.1- Especificación del componente sistemático

La primera cuestión que debe dirimirse al especificar la función V_{jq} es determinar qué variables explicativas se van a considerar. Por un lado encontramos el vector de los atributos que caracterizan, para cada individuo, una alternativa dada Z_{jq} . Por ejemplo, si se estudia la elección del modo de transporte, dicho vector incluiría el tiempo de viaje, el coste monetario, el grado de confort o la frecuencia de las distintas opciones. Por otro lado, resulta conveniente caracterizar al agente decisor por otro vector de atributos relativos a sus condiciones socioeconómicas, S_q . Normalmente este vector incluye variables como el nivel de renta, la disponibilidad de vehículo privado, el tamaño familiar, la edad, el sexo o la ocupación. (13)

Una vez se conocen las variables explicativas, la segunda cuestión reside en decidir sobre la forma funcional del componente determinista, esto es, perfilar combinaciones de Z_{jq}, S_q que reflejen razonablemente los efectos a priori de estas variables sobre la utilidad del sujeto.

Generalmente resulta conveniente definir un vector x_{jq} que incluya tanto a los atributos de las opciones Z_{jq} como a los de las características del individuo S_q . En este caso, $x_{jq} = h(Z_{jq}, S_q)$ y cada elemento del vector x_{jq} es función de uno o varios elementos de Z_{jq} y S_q . Por lo tanto:

$$V_{jq} = V(x_{jq}) \quad 2.6$$

A juicio de Ben-Akiva y Lerman (14), la elección de la forma funcional debe realizarse atendiendo a dos criterios, a veces contradictorios. Por un lado, la función debe basarse en las teorías que se disponen sobre cómo los distintos elementos afectan a la utilidad del individuo. Por otro, no hay que olvidar que conviene utilizar funciones que permitan una sencilla estimación de los parámetros desconocidos. En la mayor parte de los casos, los investigadores han decidido emplear funciones lineales en los parámetros de la forma:

$$V_{jq} = \sum_{n=1}^N \beta_{jn} x_{jqn} \quad 2.7$$

donde $\beta_j = (\beta_{j1}, \dots, \beta_{jN})$ constituye el vector de parámetros desconocidos y hemos denominado x_{jqn} al elemento n-ésimo del vector x_{jq} .

Pese a que la anterior solución puede considerarse la norma en la especificación de los modelos desagregados de estimación de la demanda de transporte, algunos autores han pretendido fundamentar la elección de la forma funcional. La teoría del consumidor ha constituido el marco básico para la especificación teórica del componente sistemático de la función de utilidad de los modelos desagregados.

Los primeros intentos de dotar de una base teórica a estos modelos de elección discreta proceden de Train y McFadden (15). En su artículo muestran cómo es posible obtener diferentes formas funcionales para el componente sistemático de la utilidad, a partir de distintos supuestos sobre las curvas de indiferencia de los consumidores.

Su modelo considera, en la línea del trabajo de Becker (16), que los individuos no sólo cuentan con una restricción monetaria, sino también con una restricción temporal. Éstos eligen la combinación de bienes G y tiempo de ocio L que maximiza su utilidad, teniendo en cuenta que si dedican más horas al trabajo t_w pueden incrementar sus ingresos y adquirir más bienes. Formalmente:

$$\text{Max } U(G, L)$$

$$\text{sujeto a } G = I + wt_w - c_j \quad 2.8$$

$$L = T - t_w - t_j$$

donde I constituye los ingresos no laborales; w es el salario, que suponemos dado; T es el tiempo total disponible; c_j constituye el coste de transporte en la alternativa j y t_j representa el tiempo de transporte de la misma alternativa. El problema puede resolverse secuencialmente, buscando en primer lugar el número de horas de trabajo que maximizan la utilidad del individuo y a continuación, seleccionando la alternativa de transporte que presenta la mayor utilidad indirecta. (17)

Los autores demuestran que el componente sistemático de la función de utilidad indirecta que resulta relevante en la modelización de la demanda de transporte puede adoptar distintas formas según cuál sea la forma funcional de la función de utilidad entre los bienes y el tiempo de ocio. (18)

Otra posible especificación es la presentada por MVA Consultancy (19), cuyo punto de partida es el modelo de asignación del tiempo de De Serpa (20). Estos autores suponen que los individuos deben dedicar un tiempo mínimo en el consumo de cada bien. Para clarificar la cuestión de la demanda de viajes

se supone la existencia de un bien generalizado x en cuyo consumo se invierte un tiempo total t_x , obviándose la decisión respecto de las horas de trabajo. Se supone que los individuos cuentan con J

alternativas de transporte caracterizadas por un coste monetario c_j y un coste temporal t_j . Cada modo

de transporte requiere un tiempo mínimo t_j^* . En estas circunstancias, la presentación formal del problema es:

$$\text{Max } U(x, t_x, t_1, \dots, t_J)$$

$$\text{sujeto a } px + \sum_{j=1}^J \delta_j c_j \leq I$$

$$t_x + \sum_{j=1}^J \delta_j t_j \leq T$$

$$t_j \geq t_j^*, \text{ con } j=1, \dots, J. \quad 2.9$$

donde los elementos δ_j son variables ficticias que indican qué modo es elegido: δ_j es 1 si se escoge la alternativa j y 0 en caso contrario. Según nuestros supuestos, todas las variables ficticias son cero, excepto

una. Por su parte, el último conjunto de restricciones indica que existe un tiempo mínimo t_j^* para el transporte en cada modo. De estas restricciones sólo la correspondiente a la alternativa seleccionada es efectiva.

El correspondiente lagrangiano puede escribirse de la siguiente manera:

$$L = U(x, q, t_1, \dots, t_J) + \lambda \left(I - px - \sum_{j=1}^J \delta_j c_j \right) + \mu \left(T - q - \sum_{j=1}^J \delta_j t_j \right) + \sum_{j=1}^J \psi_j \delta_j (t_j - t_j^*) \quad 2.10$$

donde, λ representa la utilidad marginal de la renta y μ constituye la utilidad marginal del tiempo. Los ψ_j pueden interpretarse como la utilidad marginal procedente de una reducción en el tiempo mínimo requerido para el transporte en el modo correspondiente j .

Las condiciones de máximo de Kuhn-Tucker pueden obtenerse sin dificultad, considerando las variables $x, q, t_j, \lambda, \mu, \psi_j$.

Al objeto de obtener un modelo operativo del problema de la elección del modo de transporte planteado, MVA Consultancy (21) propone realizar una aproximación a la función indirecta de utilidad de la siguiente manera: En primer lugar realiza una aproximación a la función de utilidad:

$$u \cong a + \frac{\partial u}{\partial x} x + \frac{\partial u}{\partial q} q + \sum_{j=1}^J \frac{\partial u}{\partial t_j} t_j \quad 2.11$$

donde a es una constante. A continuación, sustituye las condiciones de primer óptimo en esta expresión y obtiene:

$$U \cong a + \lambda \left(I - \sum_{j=1}^J \delta_j c_j \right) + \mu T - \sum_{j=1}^J \delta_j \psi_j t_j \quad 2.12$$

Y esta ecuación constituye una aproximación a la función indirecta de utilidad. Las correspondientes funciones de utilidad indirecta condicionadas a la opción de transporte elegida vienen dadas por:

$$U_j = a + \lambda(I - c_j) + \mu T - \psi_j t_j \quad 2.13$$

Dado que nuestro interés reside en obtener un modelo operativo sobre los determinantes de la elección del modo de transporte y los términos a , λ y μT son independientes de la alternativa seleccionada, pueden ser excluidos del modelo (22). De esta manera, obtenemos una simple formulación del elemento determinista del modelo de utilidad aleatoria para la elección entre alternativas:

$$V_j = -\lambda c_j - \psi_j t_j \quad 2.14$$

Como se observa, el desarrollo teórico seguido apoya el habitual empleo de una forma funcional lineal para el componente sistemático de la función indirecta de utilidad.

2.2- Especificación del componente aleatorio

Tal y como señala Fischer (23), las cuestiones fundamentales a considerar al decidir la estructura del modelo de elección discreta son la facilidad computacional y la flexibilidad para representar los patrones de comportamiento observados. En concreto, dado que se trata de estudiar la elección entre alternativas discretas, la distribución de los errores debe ser una distribución de probabilidad, restringida por lo tanto a tomar valores entre cero y uno.

Con diferencia, el modelo más frecuentemente utilizado es el **modelo logit**, que se obtiene al suponer que los términos aleatorios de la función de utilidad se distribuyen independiente e idénticamente según una función Gumbel, esto es:

$$F(\varepsilon) = \exp\left[-e^{-\mu\varepsilon}\right] \quad 2.15$$

y

$$f(\varepsilon) = \mu e^{-\mu\varepsilon} \exp\left[-e^{-\mu\varepsilon}\right] \quad 2.16$$

donde, como es habitual F representa la función de distribución y f la función de densidad; y μ es un parámetro de escala positivo. (24)

Puede demostrarse, que en estas circunstancias, la probabilidad de seleccionar una alternativa concreta i viene dada por: (25)

$$\begin{aligned}
P_{iq} &= \Pr \left[V_{iq} + \varepsilon_{iq} \geq \max_{j \neq i} (V_{jq} + \varepsilon_{jq}) \right] = \\
&= \frac{\exp(\mu V(x_{iq}))}{\sum_{j=1}^J \exp(\mu V(x_{jq}))}
\end{aligned}
\tag{2.17}$$

donde por comodidad suele suponerse un valor unitario para el parámetro de escala μ .

Los coeficientes de x_{jq} se estiman ajustando el modelo a la información procedente de las elecciones y los atributos de una muestra aleatoria de agentes decisores (26). La forma habitual de realizar esta estimación es mediante el método de máxima verosimilitud, que se basa en la siguiente idea: aunque una muestra puede ser originada por muchas poblaciones, una muestra concreta tiene una mayor probabilidad de proceder de una determinada población que de otras. Los estimadores de máxima verosimilitud, en consecuencia, constituyen el conjunto de parámetros que generarían la muestra observada más frecuentemente.

Este modelo logit cumple una interesante propiedad: el axioma de la independencia de las alternativas irrelevantes. Básicamente, este postulado expone que, para dos alternativas cualquiera con una probabilidad positiva de ser elegidas, el cociente entre ambas probabilidades es independiente de la existencia de ninguna otra alternativa adicional (27). Esto es fácil de constatar, pues:

$$\frac{P_j}{P_i} = \exp[\mu(V_j - V_i)]
\tag{2.18}$$

Esta propiedad es consecuencia directa del supuesto fundamental del modelo logit que establece que los errores son independientes entre sí (28). Si este supuesto no es plausible en la práctica, el modelo estimará unas predicciones erróneas. Considérese por ejemplo, un modelo de estimación del reparto modal en un contexto urbano en el que las opciones son únicamente el autobús y el vehículo privado. Supóngase además que los atributos considerados otorgan un reparto equitativo entre ambos modos. Si en estas circunstancias se pintaran la mitad de los autobuses de rojo y la otra de azul, el reparto real continuaría siendo al 50% entre el coche y el autobús y, sin embargo, el modelo logit, al considerar la existencia de tres posibles modos otorgaría una cuota aproximada del 33% a cada uno (29). Este ejemplo, clásico en la economía del transporte, conocido como el problema del autobús rojo - autobús azul, muestra como el modelo logit puede no ser el más adecuado en todas las circunstancias.

Las limitaciones del modelo logit surgen de lo que también constituye su mayor ventaja: su simplicidad. El modelo supone que los residuos se distribuyen independiente e idénticamente, de modo que, por ejemplo, cuando se consideran tres opciones, la matriz de varianzas-covarianzas adopta la forma:

$$\Sigma = \sigma^2 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
\tag{2.19}$$

Esta circunstancia puede originar problemas en cualquiera de las situaciones siguientes: En primer lugar, cuando las alternativas no son independientes, esto es, cuando existen grupos de alternativas con características similares; Y, en segundo lugar, cuando se producen variaciones aleatorias en los gustos, de modo que no es posible mantener el supuesto de varianzas idénticas.(30)

El **modelo logit jerárquico**, o anidado, constituye una interesante ampliación del modelo logit, apta para abordar problemas del primer tipo, esto es, situaciones en las que existan grupos de alternativas con características similares. (31)

El requisito fundamental para el empleo de este modelo consiste en que las opciones puedan ordenarse, esto es, que pueda establecerse un patrón secuencial en la toma de decisiones individual (32). Por ejemplo, para el problema del autobús rojo- autobús azul, habría que suponer que los individuos deciden con anterioridad si viajar en transporte público o en transporte privado y después, en caso necesario, el color del autobús.

Supóngase que quiere analizarse la decisión conjunta de la elección del destino y del modo de transporte. Este constituye evidentemente un caso en el que las distintas opciones comparten ciertas características, pues algunos modos tendrán más de un destino y algunos destinos serán alcanzables por más de un modo.

Si se entiende que la elección del destino es anterior a la elección del modo, la función de utilidad puede expresarse de la siguiente manera: (33)

$$U(d, m) = V_{dm} + V_d + \varepsilon_{dm} + \varepsilon_d$$

donde V_d representa la parte sistemática de la función de utilidad que comparten todas las alternativas que tienen d como destino; V_{dm} constituye el resto del componente sistemático, tanto la parte común a todos las opciones que utilizan el modo m como la parte específica de la combinación (d, m) ; ε_d representa el término de error común a todas las opciones con destino a d y ε_{dm} constituye el resto del componente aleatorio.

La probabilidad de seleccionar una combinación cualquiera puede entonces expresarse como el producto de la probabilidad del modo m condicionada al destino d por la probabilidad marginal del destino d: (34)

$$P(d, m) = P(m \setminus d) P(d) \quad 2.20$$

Si se estima que ambos residuos $\varepsilon_d, \varepsilon_{dm}$ se distribuyen, cada uno por separado, idéntica e independientemente según una función de Gumbel, entonces cada una de estas probabilidades constituye a su vez un modelo logit, con lo que se obtiene una expresión relativamente sencilla: (35)

$$P(d, m) = \frac{\exp(V_{dm} \mu^m)}{\sum_{m'} \exp(V_{dm'} \mu^{m'})} \frac{\exp(V_d + V_d^*) \mu^d}{\sum_{d'} \exp(V_{d'} + V_{d'}^*) \mu^{d'}} \quad 2.21$$

donde

$$V_d^* = \frac{1}{\mu^m} \log \sum_{m'} \exp(V_{dm'} \mu^{m'}) \quad 2.22$$

En la práctica este modelo puede estimarse secuencialmente, empleando el eficiente software desarrollado para el modelo logit (36): Se estima primero el sub-modelo relativo a las jerarquías inferiores, la elección del modo en nuestro ejemplo, y se introduce esta información para estimar los niveles superiores. Los estimadores así obtenidos son consistentes.

Como se observa, el modelo logit jerárquico es capaz de abordar el problema de las alternativas similares de una forma relativamente sencilla. Es posible, además, generalizarlo para el caso en que existen más de dos niveles de decisión. No obstante, para determinados problemas, la búsqueda de una estructura jerárquica adecuada puede resultar conflictiva, sobre todo si no existen nociones a priori que ayuden en esta decisión. Pero además, y sobre todo, el modelo no es aplicable en situaciones en las que, por causa de la existencia de características individuales no observadas, se produzcan variaciones aleatorias en los gustos. (37)

El **modelo probit** es el modelo de elección discreta más general y permite abordar problemas tanto de dependencia entre alternativas como de variaciones aleatorias en los gustos (38). Éste se obtiene al suponer que los residuos se distribuyen según una función normal multivariante. Esto es $\varepsilon \approx N(0, \Sigma)$, donde la matriz de varianzas-covarianzas, por ejemplo para el caso de tres alternativas, adopta la forma general: (39)

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{12} & \sigma_2^2 & \sigma_{23} \\ \sigma_{13} & \sigma_{23} & \sigma_3^2 \end{pmatrix}_{2.23}$$

El mayor inconveniente de este modelo radica en que requiere el cálculo de una integral de dimensión J-1, para evaluar las probabilidades de un problema con J alternativas (40). Pese a que en la actualidad existen métodos para aproximar este resultado de una manera menos complicada, los autores suelen emplear los modelos logit o logit jerárquico con mucha mayor asiduidad. En la mayoría de los casos, si se constata la existencia de grandes variaciones aleatorias en los gustos, se intenta subsanar el problema mediante una mejor especificación del modelo, procurando incluir, por ejemplo, alguna variable explicativa nueva. (41)

3.-Valoración del enfoque

Los modelos desagregados de transporte representan un importante avance sobre sus predecesores modelos agregados. De hecho, en las últimas tres décadas, gran parte de la investigación en el campo de la demanda de transporte se ha realizado bajo este enfoque: (42)

En ocasiones, los modelos de elección discreta se han empleado simplemente para reemplazar alguno de los componentes de los modelos agregados. No obstante, la falta de flexibilidad de estos estudios a gran escala ha limitado los beneficios obtenidos.

Otras veces, estos modelos se han utilizado para la realización de análisis concretos de política de transportes. Es en este campo en el que se han obtenido los mayores progresos. Fischer (43) recoge estudios de la elasticidad de la demanda de viajes a modificaciones en los impuestos sobre la gasolina, de los efectos de variaciones en las tarifas de los sistemas de transporte público, o de las consecuencias de diferentes incentivos sobre la congestión o la contaminación.

La mayor parte de los trabajos supone que cada decisión sobre el transporte se realiza independientemente. No obstante, existen también estudios en los que se analiza la relación entre decisiones, como por ejemplo entre la frecuencia, el modo y el destino. Además, tal como recogen Ben-Akiva y Lerman (44), incluso existe la posibilidad de organizar sistemas de modelos, en los que se incluye todo un conjunto de decisiones relacionadas con el transporte: lugar de residencia, lugar de trabajo, posesión de vehículo privado, frecuencia de los viajes, destino, modo, ruta,... En estos casos, es común determinar una jerarquía de elección que permita estimar los modelos relativos a cuestiones de corto plazo - como la frecuencia, el destino y el modo de los viajes discretos -, con base en la información relativa a los modelos relativos a decisiones de largo plazo - como el lugar de residencia o de trabajo -. (45)

No obstante lo anterior, en la pasada década, se han dirigido distintas objeciones a los modelos probabilísticos de elección discreta. Éstas han generado un amplio conjunto de extensiones y generalizaciones. Fundamentalmente, se han investigado reglas de decisión individual diferentes de la maximización de la utilidad, se han introducido los efectos hystéricos del hábito y se han incorporado variables explicativas temporales, dando lugar a estimaciones de modelos elección discreta con datos de panel (46). Sin embargo, aún restan ciertas limitaciones: (47)

Para comenzar, el enfoque sigue considerando los viajes la unidad de observación. Pese a que se reconoce abiertamente que la demanda de transporte es una demanda derivada, la inmensa mayoría de los modelos desagregados ignora la relación existente entre el transporte y las actividades que éste facilita. En este sentido, estos modelos no consiguen ofrecer información con sentido respecto a cómo cambios en las propias actividades afectan a la demanda de transportes.

En segundo lugar, hallamos el problema de la especificación del conjunto asequible individual. Pocos esfuerzos se han realizado, por el momento, para relajar el supuesto de conjuntos asequibles homogéneos, para identificar diferencias sistemáticas en las opciones abiertas a los individuos, o para estimar modelos de formación de conjuntos asequibles, con base en variables explicativas específicas. Pese a que las restricciones medioambientales, informativas o personales tienden a delinear el conjunto de alternativas posibles, los modelos de elección discreta no consiguen identificar qué opciones son realmente consideradas por los agentes decisores.

En tercer lugar, la teoría de la utilidad aleatoria se basa en que la información con que cuentan los agentes es exógena. No obstante, este supuesto resulta poco realista, toda vez que los individuos fundamentan parte de sus decisiones en la información de que disponen relativa a sus anteriores experiencias. Por este motivo, se requiere el estudio de la toma de decisiones individual desde una perspectiva dinámica.

Por último, se ha argüido que el principio básico de la teoría del consumidor, que supone un individuo racional perfectamente discriminador que cuenta con información perfecta, no es aceptable para analizar la conducta en materia de transportes. Desde luego, no es difícil encontrar situaciones relacionadas con el transporte en las que el supuesto de la maximización de la utilidad no parece corroborarse.

En definitiva, aún queda un largo camino por recorrer en la estimación de la demanda de transporte de pasajeros. No obstante, debe mantenerse presente que no siempre el acercamiento del modelo a la realidad, y la mayor complejidad del mismo que esto entraña, es la solución más adecuada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Becker, G., "A theory of the allocation of time", Economic Journal vol.75 n°299, pp.493-517, 1965.
- Ben-Akiva, M. y Lerman, S.R., Discrete choice analysis: Theory and application to travel demand, Cambridge: MIT Press, 1985.
- De Serpa, A., "A theory of the economics of time", Economic Journal vol.81 n°342, pp.828-846, 1971.
- Fischer, M. M., "Travel demand", en J. Polak y A. Heertje, editores, European transport economics, pp.6-32, 1993.
- Jara-Diaz, S. Y Farah, M., "Transport demand and user's benefits with fixed income: The goods-leisure trade off revisited", Transportation Research vol.21B, n°2, pp.165-170, 1987.
- Kanafani, A. K., Transportation demand analysis, New York: McGraw-Hill, 1983.
- McFadden, D. L., "The theory and practice of disaggregate demand forecasting for various modes of urban transportation", 1978, en Tae Hoon Oum et al., editores, Transport Economics: Selected readings, pp.51-79, 1997.

-MVA Consultancy, "Time savings: research into the value of time", en R. Layard y S. Glaister, editores, Cost-Benefit Analysis, pp. 235-271, 1994.

-Ortúzar, J. y Willumsen, L., Modelling transport, Chichester: John Wiley and Sons Ltd, 1990.

-Train, K. Y McFadden, D., "The goods-leisure trade-off and disaggregate work trip mode choice models", Transportation Research vol. 12, nº5, pp.349-353, 1974.

-
1. Puede consultarse Ortúzar y Willumsen, Modelling Transport, pp.22-30, para una adecuada introducción al modelo clásico del transporte.
 2. Fischer, "Travel demand", p.11.
 3. McFadden, "The theory and practice of disaggregate demand forecasting...", p.52.
 4. Fischer, op. Cit., p.11.
 5. Ortúzar y Willumsen, Modelling transport, pp.180-181.
 6. McFadden, "The theory and practice of disaggregate demand forecasting...", p.52.
 7. Fischer, "Travel demand", p.14.
 8. Fischer, op. Cit., pp.14-19.
 9. Ben-Akiva y Lerman, Discrete choice analysis..., pp.43-58
 10. Kanafani, Transportation demand analysis, pp.122-122.
 11. Ben-Akiva y Lerman, op. Cit., pp.55-56.
 12. Esta estructura se ha adoptado siguiendo a Ben-Akiva y Lerman, Discrete choice analysis..., p.60.
 13. Ben-Akiva y Lerman, op. Cit., p.62.
 14. Ben-Akiva y Lerman, Discrete choice analysis..., pp.62-62.
 15. Train y McFadden, "The goods-leisure tradeoff...", pp.349-352.
 16. Becker, "A theory of the economics of time", pp.493-517.
 17. Esta aclaración se debe a Jara-Díaz y Farah, "Transport demand and users' benefits...", p.165.
 18. Train y McFadden, "The goods-leisure tradeoff...", pp.350-351.
 19. MVA Consultancy, "Time savings...", pp.235-271.
 20. DeSerpa, "A theory of the economics of time", pp.828-846.
 21. MVA Consultancy, "Time savings...", p.242.
 22. MVA Consultancy, op. Cit., p.242.
 23. Fischer, "Travel demand", p.17.
 24. Ben-Akiva y Lerman, Discrete choice analysis..., p.104.
 25. La demostración puede consultarse en Ben-Akiva y Lerman, op. Cit., p.106.
 26. Fischer, "Travel demand", p.18.
 27. Ortúzar y Willumsen, Modelling transport, p.185.
 28. Ben-Akiva y Lerman, op. Cit., p.109.
 29. Ortúzar y Willumsen, op. Cit., p.166.
 30. Ortúzar y Willumsen, Modelling transport, pp.186-187.
 31. Idem, p.187.
 32. Ben-Akiva y Lerman, Discrete choice analysis..., p.291.
 33. Ortúzar y Willumsen, op. Cit., p.187.
 34. Ben-Akiva y Lerman, op. Cit., p.292.
 35. Ibídem.
 36. Ortúzar y Willumsen, Modelling transport, pp.188-189.
 37. Ortúzar y Willumsen, Modelling transport, pp.190-191.
 38. Ortúzar y Willumsen, op. Cit., p.187.
 39. Kanafani, Transportation demand analysis, p.124.
 40. Ben-Akiva y Lerman, Discrete choice analysis..., p.128.
 41. La disertación de Ortúzar y Willumsen, op. Cit., pp.192-193, resulta en este sentido muy iluminadora.
 42. Fischer, "Travel demand", pp.23 y 21.
 43. Ibídem.
 44. En Ben-Akiva y Lerman, Discrete choice analysis, pp.327-358, puede consultarse una interesante discusión sobre esta cuestión.
 45. Idem, p.328.
 46. Ortúzar y Willumsen, Modelling transport, pp.193-198.

[47.](#) Fischer, "Travel demand", pp.23-24 y Recker y McNally, "A model of complex travel behavior: Part I...", p.308.