

## El enfoque microeconómico en la estimación de la demanda de transporte de mercancías: un análisis metodológico (\*)

Cristina BORRA MARCOS  
Luis PALMA MARTOS

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad de Sevilla y Fundación Centro de Estudios Andaluces.

**RESUMEN:** Pese a la singular importancia, ampliamente reconocida, del transporte de mercancías para el adecuado funcionamiento de una economía, la ciencia del transporte se ha ocupado tradicionalmente del diseño de modelos relativos al movimiento de pasajeros, relegando a un segundo plano el análisis de los desplazamientos de mercancías. El presente artículo plantea una revisión de los fundamentos metodológicos relativos al análisis de la demanda de transporte de mercancías, desde el punto de vista microeconómico. En concreto se presentan las características fundamentales de este enfoque, los diferentes tipos de modelos disponibles y su correspondiente método econométrico de estimación. El trabajo concluye con una evaluación comparativa de éstos.

### I. INTRODUCCIÓN

La Economía del Transporte constituye, para la ciencia española, una rama del conocimiento de desarrollo relativamente reciente. En la última década han aparecido diversas obras colectivas sobre la materia<sup>1</sup>, a la que incluso se le ha dedicado algún número monográfico en revistas ampliamente divulgadas<sup>2</sup>.

En este contexto, sorprende la escasez de estudios dedicados al análisis de la demanda de transporte de mercancías.

Una escasez que contrasta, por un lado, con la profusión de trabajos relativos a la demanda de transporte de pasajeros<sup>3</sup>; y por otro, con la importancia relativa del transporte de mercancías tanto desde el punto de vista de la competitividad y el desarrollo regional como desde la perspectiva de los efectos externos negativos, sobre la seguridad o el medio ambiente, a los que puede dar lugar.

Quizás, como señalan Ortúzar y Willumsen (2001, p. 331), la explicación de este fenómeno proceda, en parte, del

\* Una versión anterior del trabajo se ha publicado como documento de trabajo 2004/02 de centra.

<sup>1</sup> Véase por ejemplo Herce y De Rus (1996) o De Rus y Nash (1998).

<sup>2</sup> Nos referimos al número 82 de *Papeles de Economía Española*, de 1999.

<sup>3</sup> Matas y Raymond (1999) o Bel i Queral (1994). Debe reconocerse que España no constituye en este aspecto una

excepción. En general, en los foros académicos internacionales (ver p. e. Hensher y Button, 2000), la conducta del consumidor, que decide la frecuencia de sus viajes o el modo de transporte, ha recibido una atención mucho mayor que la conducta del responsable logístico de la empresa, que toma decisiones similares para el transporte de sus materias primas y productos terminados.

hecho de que el transporte de mercancías involucra a muchos más agentes que el movimiento de personas. En primer lugar, encontramos a la empresa, o empresas, que envían o reciben los bienes. En segundo, aparecen los demandantes del servicio y los agentes encargados del transporte en sí. Y además existen muchos otros organizando interconexiones, permitiendo el almacenaje, facilitando la inspección de aduanas, decidiendo la inversión en infraestructuras o estableciendo el marco legal subyacente. En algunos casos, dos o más de estos agentes pueden coincidir, como en el caso del transporte por cuenta propia, pero siempre cabe la posibilidad de que existan entre ellos objetivos encontrados, difíciles de representar mediante un modelo teórico, en la práctica.

En cualquier caso, el estudio de los sistemas interurbanos de transporte de mercancías no se ha visto sometido al mismo grado de formalización teórica y matemática que el análisis de los sistemas urbanos de transporte de pasajeros. Dado que su análisis no se encuentra tan desarrollado, parece interesante recoger el actual estado de la cuestión en esta materia.

El presente trabajo revisa los fundamentos metodológicos relativos al análisis de la demanda de transporte de mercancías, desde el punto de vista microeconómico. Las características fundamentales de este enfoque se recogen en el siguiente apartado. A continuación se recogen, en sendos epígrafes, los dos tipos de modelos normalmente considerados: agregados y desagregados. El trabajo finaliza con una evaluación comparativa de éstos.

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL ENFOQUE

Puede decirse, siguiendo a Harker (1987, pp. 8-9) y Ortúzar y Willumsen (2001, pp. 333-338), que existen tres enfoques fundamentales en el análisis de la demanda de transporte de mercancías. El enfoque input-output, los

modelos de interacción espacial y la perspectiva microeconómica.

En el primer caso, se analizan las interrelaciones entre diferentes sectores de una economía. Identificando el transporte como uno de estos sectores, puede calcularse, para cada uno de los sectores restantes, sus requerimientos de transporte. Posteriormente pueden traducirse éstos en flujos de mercancías<sup>4</sup>. Los modelos input-output multirregionales de Leontieff y Strout (1963), Liew y Liew (1985) o Inamura y Srisurapanon (1998) constituyen ejemplos cualificados de este tipo de análisis.

El segundo enfoque está constituido por los modelos de interacción espacial. En ellos, se localizan superávits y déficits de los productos en puntos concretos del espacio. A continuación se postula un procedimiento —consistente, en general, en la minimización de los costes de transporte— por el que los flujos se producen desde los puntos con exceso de oferta hacia los puntos con exceso de demanda. Es frecuente que en este tipo de modelos la infraestructura del sistema de transporte quede representada mediante una red de nodos y arcos, a la que se le asignan los flujos de tráfico. A este grupo pertenecen estudios como el seminal modelo Harvard-Brookings de Kresge y Roberts (1971), el modelo generalizado de equilibrio espacial de Harker (1987) o, más recientemente, el modelo de transporte GIS (Sistema de información geográfica) de Beuthe *et al.* (2001).

Por último, hallamos el enfoque microeconómico, también llamado econométrico. Analicemos esta última alternativa con algo más de detalle.

En este enfoque, la unidad de decisión es la empresa que, inmersa en una actividad económica espacialmente distribuida, requiere servicios de transporte. Puede necesitar traer materias primas a las plantas productivas, enviar productos

<sup>4</sup> Como señalan Regan y Garrido (2002), este tipo de modelos predice el nivel de la demanda de transporte de mercancías, pero no provee una función analítica de ésta.

intermedios a otros establecimientos, trasladar el producto terminado a los almacenes de distribución, o redistribuirlo a los consumidores finales. El transporte se considera un factor productivo más y su demanda se integra en el proceso optimizador de la empresa. Como señala Winston (1983), la decisión del transporte puede proceder del departamento de transportes de la empresa emisora o receptora, del correspondiente departamento de distribución y logística o simplemente emanar del problema de maximización de beneficios de la empresa. Diferentes modelos de demanda de transporte de mercancías se obtendrán de distintos supuestos relativos al proceso de toma de decisiones.

Este tipo de modelos se caracteriza, además, por el empleo de técnicas econométricas para la obtención de relaciones estructurales entre las variables del sistema (Boyer, 1997, p. 49).

Por último, es necesario destacar, siguiendo a Harker (1987), que, en general, los estudios pertenecientes a este enfoque no consideran una descripción detallada de la red de transportes. Las complejidades del sistema real de transportes se ignoran, a menudo por causa de la falta de datos relativos a enlaces concretos. Frecuentemente, la dimensión espacial se incluye únicamente a través de la consideración de la distancia entre los puntos de origen y destino.

En este trabajo, seguiremos la convención de Winston (1983) de distinguir entre estudios agregados y estudios desagregados, según la naturaleza de la información empleada<sup>5</sup>. En los modelos agregados, la unidad básica de información es la participación agregada de un modo concreto de transporte a nivel regional o nacional; en los desagregados, la unidad básica de información la constituye la elección

<sup>5</sup> Zlaoper y Austrian (1989) o Abdelwahab y Sargious (1992) emplean también esta clasificación. Regan y Garrido (2002) utilizan sin embargo un criterio espacial (transporte internacional, transporte interurbano y transporte urbano).

individual de un modo de transporte concreto para un envío determinado. Analicemos seguidamente estas dos categorías de modelos.

## 3. MODELOS AGREGADOS

El primer grupo de modelos agregados a que nos referiremos son los *modelos neoclásicos agregados*. Éstos suponen que la empresa cargadora es un agente minimizador de costes que opera en mercados competitivos, tanto del producto, como de los factores de producción. El transporte es considerado un recurso más en la producción de bienes y servicios.

Desde el punto de vista teórico, el modelo específica, en primer lugar, la función de costes de la empresa y obtiene la demanda de transporte correspondiente a cada modo concreto mediante el lema de Shephard.

Desde el punto de vista empírico, la mayor parte de los trabajos recientes en esta área utilizan la función de costes translogarítmica. Ésta pertenece al conjunto de formas funcionales flexibles introducidas en la década de los setenta al objeto de superar la restricción existente en las funciones de costes Cobb-Douglas o similares en las que las elasticidades de sustitución entre los factores son unitarias o constantes. Como señalan Oum y Waters II (1998) la función translog se ha convertido rápidamente en la función más aplicada, debido a que es sencilla de estimar e interpretar. Además, es frecuente entenderla como una aproximación de segundo orden a una forma funcional desconocida<sup>6</sup>. Pese a constituir un modelo lineal en los parámetros, al incluir términos de interacción entre las variables, puede simular gran cantidad de curvaturas cuando se utiliza para aproximar otra función. Formalmente, para  $K$  outputs y  $L$  inputs:

<sup>6</sup> Greene (1999, p. 200) o Jorgenson (1986) ofrecen sendas posibilidades de obtención de esta forma funcional.

$$\ln C = \alpha_0 + \sum_{k=1}^K \alpha_k \ln z_k + \sum_{l=1}^L \beta_l \ln w_l + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^K \chi_{kr} \ln z_k \ln z_r + \frac{1}{2} \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^L \delta_{lm} \ln w_l \ln w_m + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \gamma_{kl} \ln z_k \ln w_l$$

donde  $\mathbf{z}$  es un vector de outputs y  $\mathbf{w}$  es un vector de inputs<sup>7</sup>.

En la práctica, esta función de costes se estima conjuntamente con las ecuaciones de participación en el coste correspondientes a los factores de producción considerados —normalmente el trabajo y los distintos modos de transporte—<sup>8</sup>. Además se incorporan una serie de restricciones en los parámetros para que la función de costes estimada cumpla las propiedades que implica la teoría dual de la producción (Jorgenson, 1986). Estas suelen denominarse restricciones de simetría,<sup>9</sup> homogeneidad<sup>10</sup> y agotamiento de los costes<sup>11</sup>.

Debe tenerse en cuenta que metodológicamente nada impide que este tipo de modelos se estime con datos individuales obtenidos para distintas empresas. Sin embargo, la totalidad de los estudios que se conocen han empleado información agregada por regiones o zonas geográficas,

<sup>7</sup> Obsérvese además que si todos los parámetros de segundo orden ( $\chi_{kr}$ ,  $\delta_{lm}$ ,  $\gamma_{kl}$ ) se anulan, entonces se reduce a la conocida función Cobb-Douglas.

<sup>8</sup> Para cada factor considerado,  $S_i = \frac{\partial \ln C(\mathbf{z}, \mathbf{w})}{\partial \ln w_i} = \beta_i + \sum_{l=1}^L \delta_{il} \ln w_l + \sum_{k=1}^K \gamma_{ki} \ln z_k$ .

<sup>9</sup>  $\chi_{kr} = \chi_{rk}$ ,  $\delta_{lm} = \delta_{ml}$ ,  $\gamma_{kl} = \gamma_{lk}$ .

<sup>10</sup>  $\sum_{m=1}^L \delta_{lm} = 0$ ,  $\forall l$ ,  $\sum_{l=1}^L \gamma_{kl} = 0$ ,  $\forall k$ .

probablemente obtenida de fuentes secundarias.

A partir de los parámetros estimados, es fácil obtener los valores de las elasticidades de sustitución parciales de Allen<sup>12</sup>. Y, a partir de ellas, las elasticidades precio y las elasticidades cruzadas de la demanda de los distintos factores<sup>13</sup>. En cualquier caso, los valores calculados corresponden a estimaciones de elasticidades de la demanda compensada —que supone constante el nivel de producción— y no de la demanda total<sup>14</sup>.

La presentación de los modelos neoclásicos agregados aquí realizada se corresponde prácticamente con la versión utilizada por Friedlaender y Spady (1980). Estos autores utilizan, no obstante, una aproximación a la función de costes variables de corto plazo, al entender que es más probable que las empresas operen sobre una curva de costes a corto que sobre una curva de costes a largo. En consecuencia, consideran como variables independientes  $\mathbf{z}$  no sólo una medida agregada de output, sino también las cantidades de los dos factores que se presumen fijos: el capital y el combinado de materias primas y energía.

Por su parte, Oum (1979a, 1979b) utiliza un modelo algo diferente en sus estudios de la demanda de transporte de Canadá. Realiza dos supuestos que le permiten simplificar significativamente la adaptación empírica. Por un lado, el autor asume la existencia de rendimientos constantes a escala, de modo que la función de costes totales se traduce en el mero producto entre el nivel de producción y la función de costes unitarios. Y por otro

<sup>11</sup>  $\sum_{i=1}^L \beta_i = 1$ .

<sup>12</sup> Para la función translog se obtienen mediante la fórmula  $\sigma_{ij} = \frac{\delta_{ij} + S_i S_j}{S_i S_j}$  (Berndt y Wood, 1975).

<sup>13</sup> Pues por definición,  $\sigma_{ij} = \frac{\epsilon_{ij}}{S_j}$ , donde  $\epsilon_{ij}$  es la

elasticidad cruzada medida sobre la demanda compensada del factor.

<sup>14</sup> El trabajo de Oum *et al.* (1992) aclara el tipo de elasticidad que se obtiene a partir de cada modelo.

lado, se hace el supuesto de separabilidad estricta entre las variables relacionadas con el transporte y el resto de los factores productivos. De este modo, el coste unitario óptimo de transporte es independiente de los precios del resto de los factores.

En la aplicación correspondiente a los datos transversales, Oum (1979a) compara tres diferentes especificaciones del modelo inicial: la forma general y dos formas hedónicas diferentes<sup>15</sup>.

En el trabajo relativo a los datos de serie temporal, Oum (1979b) incluye como argumento de la función de costes, junto con los precios de los distintos modos de transporte, una variable de tendencia temporal. El autor considera en este caso cuatro especificaciones alternativas: el modelo translog básico, un modelo autorregresivo —para permitir la existencia de correlación serial entre los errores—, un modelo de ajuste parcial —para recoger la posible presencia de retardos en la respuesta de las empresas ante un cambio en las tarifas— y una combinación de estos dos últimos —en la que ambos tipos de efectos se permiten—. El autor estima superior la especificación autorregresiva y esta es la empleada en el análisis empírico. Este es el único estudio neoclásico con datos de serie temporal que hemos obtenido, por lo que sus resultados no pueden compararse con otros similares.

Las aplicaciones más recientes de los modelos neoclásicos agregados se han centrado, fundamentalmente, en estudiar pequeñas modificaciones de la forma funcional translogarítmica al objeto de mejorar sus condiciones de regularidad (Westbrook y Buckley, 1990 y Bianco *et al.*, 1995). Como se sabe, una de las propiedades más importantes de la función de costes desde el punto de

<sup>15</sup> Las especificaciones hedónicas suponen que las variables representativas de la calidad del servicio ejercen su influencia sobre los costes a través de su efecto sobre las tarifas de transporte. Económicamente, tal circunstancia se traduce en una reducción en la cantidad de parámetros a estimar.

vista teórico es su concavidad respecto a los precios de los factores. Para la función de costes translog, ciertas aplicaciones empíricas contradicen esta propiedad. La solución a estos problemas de regularidad suele consistir en transformar previamente los datos, antes de aplicar la forma translog o emplear otras formas funcionales flexibles, diferentes de la función translogarítmica<sup>16</sup>.

Existe un segundo grupo de trabajos, pertenecientes a este enfoque agregado, que la literatura suele denominar *modelos directos de demanda* (Ortúzar y Willumsen, 2001, p. 171). Éstos estiman directamente la función de demanda del modo de transporte considerado sin hacer referencia explícita a la función de costes originaria. Se caracterizan además por el empleo de datos de serie temporal y suelen considerar un solo modo de transporte. Nos referimos a trabajos como los de Hsing (1994), Coto-Millán (1995) o Kulshrestha *et al.* (2001)

En este tipo de estudios, la especificación de las variables se realiza de un modo *ad-hoc*. Relacionan la cantidad total transportada por el modo considerado con su propia tarifa, las tarifas de los modos competitivos y el nivel de PIB de la economía. Obtienen de este modo diferentes estimaciones a corto y largo plazo de la elasticidad precio, cruzada y renta de la demanda. A juicio de Oum *et al.* (1992), los valores de estas elasticidades deben entenderse como estimaciones de las elasticidades de la demanda ordinaria, pese a que desde el punto de vista teórico tal extremo no quede precisado en los trabajos<sup>17</sup>.

La tabla 1 presenta esquemáticamente las características de algunos de estos modelos agregados, con especial énfasis en las peculiaridades de sus aplicaciones prácticas.

<sup>16</sup> El primer remedio es el aplicado en el estudio de Bianco *et al.* (1995). Westbrook y Buckley (1990), de hecho, comparan ambos tipos de soluciones.

<sup>17</sup> Los tres estudios considerados difieren en realidad en el método de estimación. Hsing (1994) utiliza un modelo Box-Cox; Coto-Millán (1995), técnicas de cointegración y Kulshrestha *et al.* (2001), metodología de Vectores Auto Regresivos.

Tabla I. Estudios representativos de carácter agregado

	Estudio	Modelo econométrico	Variables dependientes (D) e independientes (I)	Datos	Observaciones
MODELOS NEOCLÁSICOS	Oum (1979a)	Función de costes translog	D: coste, particip. en costes. I: tarifas, tiempos de viaje, variac. tiempo, distancia	Sección cruzada. Para cada clase de producto, un número diferente de obs. Canadá	Sólo dos modos. Diferentes especificaciones hedónicas
	Oum (1979b)	Función de costes translog	D: coste, particip. en costes. I: tarifas, tendencia	Serie temporal. 1945-1974. Canadá	Tres modos. Especificaciones autorregresiva y de adaptación parcial
	Friedlaender y Spady (1980)	Función de costes translog	D: particip. en costes. I: precio inputs, output agregado, inputs fijos, dummies por sector y región	Sección cruzada. 96 sectores industriales. EE. UU.	Sólo dos modos. Incluye el trabajo entre los inputs variables
	Bianco et al. (1995)	Función de costes translog	D: particip. en costes. I: tarifas, precio del producto, output agregado, distancia	Sección cruzada. Para cada sector o región, un número diferente de obs. Italia	Sólo dos modos. Transformación de los datos para evitar problemas de concavidad
MODELOS DIRECTOS DE DEMANDA	Hsing (1994)	Modelo de adaptación parcial con met. Box-Cox	D: output agregado. I: PIB, tarifas	Serie temporal. 1960-1990. EE. UU.	Relativo al transporte por ferrocarril
	Coto-Millán (1995)	Técnicas de cointegración	D: output agregado. I: PIB, tarifas	Serie temporal. 1975-1990. España	Relativo al transporte marítimo
	Kulshrestha et al. (2001)	Sistema de ecuaciones VAR	D: output agregado. I: PIB, tarifa, n.º vehículos	Serie temporal. 1960-1995. India	Relativo al transporte por ferrocarril

#### 4. MODELOS DESAGREGADOS

Los modelos desagregados aparecen hacia finales de los años setenta. Utilizan datos correspondientes a empresas individuales. De este modo, se facilita que el número de observaciones aumente considerablemente, así como la variabilidad y, en consecuencia, el poder explicativo de las variables independientes. En concreto, la unidad básica de información la constituye un envío determinado, del cual se recogen tanto atributos de la mercancía, el

mercado de destino o la propia empresa, como atributos del propio modo de transporte.

Además del tipo de información empleada, los modelos desagregados se caracterizan por utilizar básicamente los modelos de elección discreta<sup>18</sup> para su estimación econométrica. Como defiende McFadden (1978), el empleo de este tipo de modelos sólo se justifica ante la presencia de alternativas excluyentes<sup>19</sup>. A juicio de Daughety (1979), en el transporte de mercancías no es adecuado suponer que la totalidad de la

<sup>18</sup> McFadden (1974). Se consideran modelos de elección discreta aquellos cuya variable dependiente es cualitativa.

<sup>19</sup> Tal parece ser el caso en la demanda de transporte de pasajeros, donde, por ejemplo, ante un cambio en la

tarifa de un modo de transporte, no se suele decidir utilizarlo menos; el modo habitual de transporte, o bien se mantiene, o bien se modifica.

producción vaya a enviarse a un único mercado o mediante un único modo de transporte. Incluso en los casos en los que resulta más económico realizarlo así, esto sería demasiado arriesgado. Las teorías de diversificación de la cartera implican la selección de más de una opción. Por ello, Daughety (1979) estima que el empleo de los modelos de elección discreta puede constituir un error en muchos casos.

Desde nuestro punto de vista, esta crítica —fundada, en muchas aplicaciones prácticas— procede de plantear el problema de estimación de la demanda de transporte de mercancías en un nivel de agregación superior al que requieren los estudios desagregados de elección discreta. Tal y como señala Roberts (1977), el elemento básico a modelizar en este tipo de trabajos debe ser el envío individual, y no el nivel de producción total de la empresa en cuestión. Tal circunstancia permite una adecuada utilización de los modelos cualitativos, pues evidentemente cada envío supone un único modo de transporte y un único destino.

La literatura de los modelos desagregados de la demanda de transporte de mercancías reconoce dos enfoques diferentes: el enfoque conductista y el enfoque logístico (Winston, 1983 y Harker, 1987, pp. 13-14). Éstos se analizan a continuación.

##### 4.1. El enfoque conductista

Desde esta perspectiva, el agente decisor es el jefe de distribución, responsable del coste y de la calidad de este servicio. Se supone además que el tamaño de los envíos, dependiente del departamento de compras, es exógeno a este agente, de manera que la variable de decisión que se modeliza es el modo de transporte. Dado que se entiende que existe incertidumbre relativa a la calidad del servicio efectivamente recibida, se postula la existencia de una función de utilidad que define el comportamiento del jefe de distribución.

En concreto, se supone que este agente selecciona el modo de transporte que maximiza su utilidad esperada (Winston, 1981).

Desde el punto de vista empírico, la especificación de este tipo de modelos se basa en la teoría de la utilidad aleatoria<sup>20</sup>. Según ésta, el agente decisor  $q$  se enfrenta a  $J$  alternativas de las que obtendría un nivel de utilidad esperada determinado. Este actor, el jefe de distribución en nuestro caso, elige la alternativa que le otorga la mayor utilidad esperada, esto es, elige  $i$  si  $EU_{qi} \geq EU_{qj}, \forall j \neq i$ , donde  $EU_{qi}$  es la utilidad esperada por el agente  $q$  de la opción  $i$ .

El analista, sin embargo, no conoce la utilidad esperada del agente decisor. Observa únicamente determinados atributos de las alternativas,  $\mathbf{x}_{qj}$  —como la tarifa, el tiempo de viaje, la variabilidad en el tiempo de viaje—, y algunas características de la mercancía o de la empresa,  $\mathbf{s}_q$  —valor de la mercancía, cantidad total transportada, volumen de ventas—... En consecuencia, la utilidad se descompone en una parte observada que es determinista  $V$  y en una parte inobservada, que es estocástica  $\varepsilon$ , de modo que:

$$EU_{qj}(\mathbf{x}_{qj}, \mathbf{s}_q) = V(\mathbf{x}_{qj}, \mathbf{s}_q) + \varepsilon_{qj}$$

Diferentes supuestos relativos a la distribución conjunta de los términos de error darán lugar a distintos modelos empíricos y, en consecuencia, a diferentes estimaciones de los valores estimados de los parámetros<sup>21</sup>.

Según la especificación que se realice de este término de error, variará la interpretación que corresponda a los coeficientes estimados. En general, en el modelo de regresión lineal clásico, los coeficientes constituyen una aproximación al efecto marginal de la variable explicativa correspondiente sobre la variable dependiente. En un

<sup>20</sup> La explicación subsiguiente se basa en Train (2003, pp. 18-19).

<sup>21</sup> Los modelos más comunes son el logit, en el que los términos de error se distribuyen independiente e idénticamente según la función de valor extremo, y el probit, en el que los errores siguen una distribución normal.

modelo de elección discreta, se estima la probabilidad de seleccionar una alternativa concreta y, excepto en el modelo lineal de probabilidad, los parámetros estimados no constituyen una aproximación al efecto marginal de la variable correspondiente sobre esta probabilidad (Greene, 1999, p. 753). El efecto marginal depende tanto del coeficiente estimado como del punto en que se evalúe (Cabrer Borrás *et al.*, 2001, p. 117-118). Además, en un modelo de elección discreta, puede interesar el calcular la sensibilidad de la probabilidad de elegir una alternativa concreta ante un cambio unitario en una variable explicativa. Esta medida se denomina elasticidad probabilística (Dunne, 1984). Por los motivos anteriormente expuestos, el valor de esta elasticidad también dependerá del punto en que se evalúe<sup>22</sup>.

Si lo que se desea es estimar la elasticidad de la demanda agregada, se requiere obtener la función de demanda agregada de cada opción considerada. Conceptualmente, un estimador consistente de la población total que elige una alternativa concreta es la suma ponderada de las probabilidades estimadas de seleccionar esa opción en la muestra (Train, 2003, p. 35). En esto consiste el método de la enumeración muestral<sup>23</sup>. La elasticidad agregada puede calcularse de igual modo calculando la elasticidad correspondiente a cada observación y tomando la media ponderada. No obstante, las elasticidades de la demanda así obtenidas son estimaciones de las elasticidades de reparto modal, y no de las elasticidades ordinarias de la

<sup>22</sup> Dunne (1984) contiene las expresiones matemáticas de las elasticidades probabilísticas correspondientes a los modelos de elección discreta más comunes.

<sup>23</sup> Train (2003, pp. 35-36) señala también el método de segmentación. Ben-Akiva y Lerman (1985, pp. 134-135) recogen una tipología de métodos de agregación más completa.

<sup>24</sup> Como señalan Oum *et al.* (1992), se necesitaría conocer cómo afecta al volumen total del tráfico el cambio en el precio del modo considerado. Estos autores sugieren cómo corregir las elasticidades de reparto modal para obtener las ordinarias.

demanda, pues consideran dado el volumen total de tráfico<sup>24</sup>.

El esquema fundamental presentado corresponde básicamente al modelo desarrollado por Winston (1981). Con especificaciones teóricas similares encontramos los trabajos de Jiang *et al.* (1999) en Francia o Piñero de Miguel (2001) en España. La tabla 2 recoge las características específicas de cada estudio.

Recientemente, esta clase de modelos conductistas ha comenzado a estimarse con datos procedentes de preferencias declaradas. Según esta metodología, se diseñan diferentes grupos de alternativas mutuamente excluyentes consistentes en distintas combinaciones realistas de una serie de atributos como tarifas, frecuencias del servicio, tiempos de viaje... A continuación, en la versión más comúnmente empleada<sup>25</sup>, se pide al agente decisor que seleccione de cada grupo la alternativa deseada. En consecuencia, de cada entrevista se obtiene más de una observación. A la información así obtenida puede ya aplicársele la metodología de los modelos de elección discreta<sup>26</sup>.

Interesantes estudios conductistas con información declarada aparecen en Shingal y Fowkes (2002) o Bolis y Maggi (2002)<sup>27</sup>. La tabla 2 recoge sus rasgos característicos fundamentales.

#### 4.2. El enfoque logístico

En esta última categoría analizada, el análisis de la demanda de transporte se realiza desde la perspectiva del jefe de

<sup>25</sup> Hensher (1994) se refiere a este tipo como datos de elección (*choice data*). Existen además dos tipos de datos ordenados: "*rank-order data*" y "*ratings data*".

<sup>26</sup> Conviene señalar, no obstante, que este tipo de modelos, pese a estimar adecuadamente los valores monetarios de los distintos atributos como el tiempo de viaje o la frecuencia, resultan algo menos apropiados para la predicción de las demandas agregadas. Para ello y al objeto de que los parámetros estimados adquieran una escala razonable, suele combinarse este tipo de datos con datos de preferencias reveladas. (Ver por ejemplo Hensher, 1994).

<sup>27</sup> Ambos trabajos utilizan "*rating data*" que es transformada en "*choice data*" para su empleo en el modelo de elección discreta.

inventarios. Se considera que la mercancía en camino constituye inventario sobre ruedas, de modo que forma parte del capital productivo de la empresa, al igual que los bienes en proceso de fabricación.

Los fundamentos teóricos de este enfoque fueron desarrollados por Baumol y Vinod (1970). Ellos fueron los primeros en incluir consideraciones logísticas en el estudio de la demanda de transporte de mercancías. Su modelo parte de la siguiente cuestión: ¿por qué ha de ser relevante el tiempo de viaje para el demandante del transporte en aquellos casos en que los envíos se realizan a intervalos regulares? El motivo se halla en la teoría de los inventarios: un modo de transporte más lento implica el mantener un mayor inventario en tránsito. Además, si existe incertidumbre en la demanda del producto, cuanto más larga e incierta sea la duración del periodo en tránsito, mayor deberá ser el nivel del stock de seguridad que conviene mantener en el almacén de destino. Baumol y Vinod (1970) definen los costes logísticos de la empresa como la suma de los costes directos de transporte, los de la mercancía en tránsito, los de realización de los pedidos y los de almacenamiento de la mercancía.

En consecuencia, desde el punto de vista del enfoque considerado, el objetivo fundamental del responsable de transportes de la empresa es la minimización de los costes de logística. Para ello cuenta con dos variables de decisión: el modo de transporte y el tamaño de los envíos. Ambas decisiones se toman simultáneamente. Se supone que el agente decisor calcula el tamaño del envío de mínimo coste para las alternativas con que cuenta  $X_i^*$  y a continuación elige aquella opción que reviste el menor. Esto es, elige la opción  $i$  si  $C(i, X_i^*) < C(j, X_j^*)$ ,  $\forall j \neq i$ , donde  $C(i, X_i^*)$  es el coste de enviar la cantidad  $X_i^*$  por el modo  $i$ .

Desde el punto de vista del investigador, existen por tanto dos decisiones relacionadas que modelizar.

Por un lado la correspondiente al tamaño óptimo del envío, una variable continua; y, por otro, la relativa a la selección del modo de transporte, una variable discreta. Ambas decisiones dependen directa o indirectamente de distintas variables observables, tanto atributos del modo de transporte  $x_{qi}$  como características de la mercancía o la empresa  $s_q$ . También las dos están sujetas a un cierto error; pero además el modo de transporte óptimo depende también del tamaño óptimo del envío obtenido en cada caso. Puede decirse entonces que se requiere la estimación simultánea del siguiente sistema de ecuaciones:

$$X_{qi}^* = X_{qi}^*(x_{qi}, s_q, \varepsilon_{qi})$$

$$I_{qi}^* = I_{qi}^*(x_{qi}, s_q, X_{qi}^*, v_{qi})$$

donde  $\varepsilon$  y  $v$  son los términos de error, el subíndice  $q$  hace referencia a la empresa considerada e  $I_{qi}^*$  representa los ahorros de costes de logística que obtiene el modo  $i$ .

La presentación del enfoque logístico realizada se corresponde fundamentalmente con el modelo de Abdelwahab y Sargious (1992) y Abdelwahab (1998). El seminal trabajo de McFadden *et al.* (1985) y los estudios de Inaba y Wallace (1989) y Genç *et al.* (1994) utilizan un modelo similar pero al referirse al comportamiento de empresas distribuidoras, en lugar de la minimización de los costes de logística, plantean la maximización de los beneficios. Todos ellos, no obstante, emplean el mismo modelo econométrico: lo que en terminología de Maddala (1983) es conocido como el modelo de regresión alternante con selección endógena<sup>28</sup>. Existe sin embargo un primer trabajo del enfoque de Chiang y Roberts (1984) que considera el tamaño una variable cualitativa y aplica el

<sup>28</sup> Difieren en la metodología para la estimación. McFadden *et al.* (1985) y Abdelwahab y Sargious (1992) emplean máxima verosimilitud, mientras Inaba y Wallace (1989) emplean una variante del modelo Heckit debida a Lee (1982).

modelo logit, usual en el enfoque conductista<sup>29</sup>.

Los modelos de este enfoque logístico permiten también la obtención de elasticidades probabilísticas y elasticidades agregadas de la demanda. En este último caso, tales elasticidades constituyen aproximaciones a las elasticidades ordinarias y no a las elasticidades de reparto modal, pues, al estimarse conjuntamente el modo de transporte y el tamaño del envío, se está permitiendo tanto la distribución de los viajes existentes entre los distintos modos como la generación de nuevos envíos. De los estudios presentados, sólo el de Abdelwahab (1998) presenta estimaciones de la elasticidad de la demanda agregada.

La tabla 2 muestra un resumen esquemático de los rasgos diferenciales correspondientes a los principales trabajos empíricos de este enfoque logístico.

### 5. EVALUACIÓN DE LAS DIFERENTES CATEGORÍAS DE MODELOS

El enfoque microeconómico en la estimación de la demanda de transporte de mercancías cuenta con una importante virtud, desde el punto de vista teórico, pues sus modelos proceden de supuestos relativos al comportamiento de los agentes encargados de la toma de decisiones en materia de transportes. Sin embargo, desde el punto de vista práctico, las diferentes categorías de modelos presentan distintas ventajas e inconvenientes específicos.

Los estudios del enfoque agregado cuentan con una importante cualidad: se estiman con información agregada. Su unidad básica de observación es la participación agregada de un modo de transporte concreto al nivel regional o

nacional. Esta circunstancia constituye tanto su mayor desventaja como su mayor virtud. De un lado, determina que las estimaciones de efectos tan importantes como las elasticidades de la demanda no puedan ser muy precisas, en la medida en que proceden de valores medios de las diferentes variables y no de los valores reales a los que se enfrenta el agente decisor. Y sin embargo, de otro, la propia naturaleza del tipo de información solventa el problema de la necesidad de agregación de elecciones individuales a la hora de calcular flujos agregados de tráfico.

Frente a ellos, los modelos desagregados se estiman con información individual, por tanto, el número de observaciones aumenta considerablemente, lo que da lugar a estimaciones más precisas de los parámetros. Se dice que estos modelos permiten un uso más eficiente de la información. Dado que los datos se toman en valores reales y no medios, no se pierde la variabilidad —ni en consecuencia, el poder explicativo— de las variables independientes. Esto implica que puedan obtenerse valores estimados fiables de muestras relativamente pequeñas. Además, este enfoque permite el empleo de especificaciones empíricas más ricas, que capturan adecuadamente la variación en las características del agente decisor y que recogen un mayor conjunto de atributos de la calidad del servicio. Por último, cabe subrayar que, pese a que ambas categorías de modelos proceden de teorías relativas al comportamiento de las empresas, los desagregados no requieren el supuesto poco realista de que los agentes decisores son idénticos.

No obstante lo anterior, es importante reconocer que existen limitaciones prácticas a la realización de análisis desagregados en el transporte de mercancías. La estimación de un modelo desagregado requiere gran cantidad de

<sup>29</sup> Desde nuestro punto de vista, esta aplicación no parece muy adecuada. El tamaño del envío debe ser considerada una variable continua. En todo caso si se establecen intervalos de tamaño, se trataría de una

variable ordenada y no meramente una variable cualitativa. Greene (1999, pp. 750-862) presenta diferentes modelos econométricos específicos para datos ordenados.

Tabla 2. Modelos representativos de carácter desagregado

	Estudio	Modelo econométrico	Variables dependientes (D) e independientes (I)	Datos	Observaciones
ENFOQUE CONDUCTISTA	Winston (1981)	Probit multinomial	D: modo de transp. I: tarifas, tiempo de viaje, variab. tiempo, tamaño envíos, ventas localización.	Sección cruzada. N.º obs. variable según clase de producto. EE. UU.	Dos o tres modos. Muestra «choice-based» <sup>30</sup> .
	Jiang et al. (1999)	Logit anidado	D: modo de transp. I: caract. Empresa, atributos producto, distancia.	Sección cruzada. 3.473 obs. de una encuesta a gran escala en Francia.	Incluye transporte por cuenta propia. No incluye atributos de modos de transp.
	Piñero de Miguel (2002)	Logit condicional	D: modo de transp. I: tarifas, tiempo de viaje, frecuencia, dummies sectoriales.	Sección cruzada. 207 obs. España.	Sólo dos modos. Empresas exportadoras.
	Bolis y Maggi (2002)	Tobit	D: modo de transp. I: tarifa, tiempo de viaje, puntualidad, frecuencia.	Preferencias declaradas. 21 entrevistas. Italia.	Tres modos. Calcula valores del tiempo, frecuencia, flexibilidad.
	Shingal y Fowkes (2002)	Logit	D: modo de transp. I: tarifa, tiempo de viaje, puntualidad.	Preferencias declaradas. 32 entrevistas. Italia.	Cuatro modos. Calcula valor del tiempo y de la puntualidad.
ENFOQUE LOGÍSTICO	Roberts y Chiang (1984)	Logit multinomial	D: modo de transp., tamaño envío. I: tarifas, atributos producto, distancia.	Sección cruzada. EE. UU.	Once opciones de modo y tamaño. Categoriza el tamaño que es var. continua.
	McFadden et al. (1985)	Regresión alternante con selección endógena	D: modo de transp., tamaño envío. I: tarifas, tiempo viaje, valor mercado.	Sección cruzada. Productos agrícolas. EE. UU.	Sólo dos modos. Estimación, máxima verosimilitud. Muestra «choice-based».
	Inaba y Wallace (1989) y Genç et al. (1994)	Regresión alternante con selección endógena	D: destino, modo de transp., tamaño envío. I: tiempo viaje, capacidad silo, distancia.	Sección cruzada. Productos agrícolas. EE. UU.	32 opciones de modo y destino. Estimación según Lee (1982).
	Abdelwahab y Sargious (1992) y Abdelwahab (1998)	Regresión alternante con selección endógena	D: modo de transp., tamaño envío. I: tarifas, tiempo viaje, caract. mercado, total transportado.	Sección cruzada. 1003 obs. de encuesta oficial de transportes. EE. UU.	Dos modos. Estimación según Lee y Trost (1978).
	Borra Marcos (2004)	Regresión alternante con selección endógena	D: tipo transporte, tamaño envío. I: coste, tiempo viaje, caract. merc., ámbito.	Sección cruzada. 106 obs. encuesta propia. Andalucía.	Alternativas: cuenta propia o cuenta ajena. Estimación según Lee y Trost (1978).

<sup>30</sup> Este tipo de datos procede de una muestra estratificada en la que el criterio de estratificación es la propia variable de estudio, en este caso el modo de transporte (Ortúzar y Willumsen, 2001, pp. 52-53).

Pese a consistir en un modo de obtención de información de bajo costo, cuenta con el inconveniente de que la muestra resultante no es aleatoria.

datos. No sólo se necesita una muestra de las elecciones de las empresas, sino que también se requiere obtener datos relativos a las características de las opciones consideradas, tanto seleccionadas como rechazadas. Este problema puede solventarse en parte gracias a la eficiencia en la obtención de información que permiten las técnicas de preferencias declaradas. No obstante, la fiabilidad de los datos disminuye al tratarse de elecciones hipotéticas. La mayoría de los autores defiende los resultados que estas técnicas obtienen para la valoración de los atributos del viaje (como el tiempo, la frecuencia o la variabilidad) pero señalan las dificultades a las que se enfrentan en la predicción de la demanda agregada.

Y ello constituye el segundo gran inconveniente de los modelos desagregados. Una vez estimados resulta necesaria la agregación de los resultados individuales para obtener estimaciones de la demanda total de cada tipología de transporte considerada. Aunque el método de enumeración es relativamente sencillo de implementar, su adecuación depende de la representatividad de la muestra con la que se realice la estimación.

Por estos motivos, en determinadas ocasiones, los modelos agregados pueden resultar la mejor opción. Winston (1983), de hecho, los defiende en el contexto del análisis de flujos de mercancías a gran escala (regionales o nacionales) con una marcada intencionalidad política o de predicción.

En cuanto a la comparación entre los dos tipos de modelos desagregados considerados, la balanza se inclina a favor del nuevo enfoque logístico. El hecho de suponer que este tipo de decisiones se realiza independientemente de otras decisiones logísticas desvirtúa los resultados empíricos y constituye un supuesto poco sostenible en el terreno teórico: lo lógico es suponer que el jefe de distribución coordina sus decisiones de transporte con el jefe de inventarios.

Sin embargo, debe subrayarse que en la actualidad el enfoque logístico, dado

que se trata de un área de estudio de desarrollo relativamente reciente, carece de una metodología de estimación uniforme y de general aceptación, con la que sí cuentan los modelos del enfoque conductista, al haberla heredado de los modelos correspondientes al transporte de pasajeros. Además falta aún por explorar el método de estimación adecuado para el empleo de datos de preferencias declaradas desde esta perspectiva logística.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELWAHAB, W. M. (1998): «Elasticities of mode choice probabilities and market elasticities of demand: Evidence from a simultaneous mode choice/shipment size freight transport model», *Transportation Research Part E* 34, n.º 4, 257-266.
- ABDELWAHAB, W., y SARGIOUS, M. (1992): «Modelling the demand for freight transport: A new approach», *Journal of Transport Economics and Policy*, 26, n.º 1, 49-70
- BAUMOL, W. J., y VINOD, H. D. (1970): «An inventory theoretic model of freight transport demand», *Management science* 16, n.º 7, 413-21.
- BEL I QUERALT, G. (1994): *La demanda de transporte en España*, Madrid: Instituto de Estudios del Transporte y las Comunicaciones, MOPTMA.
- BEN-AKIVA, M., y LERMAN, S. R. (1985): *Discrete choice analysis: Theory and application to travel demand*, MIT Press. Cambridge.
- BEUTHE, M., JOURQUIN, B., GEERTS, J-F, KOUL A NDJANG'HA, C. (2001): «Freight transportation demand elasticities: a geographic multimodal transportation network analysis», *Transportation Research Part E* 37, 253-266.
- BIANCO, L.; CAMPISI, D.; y GASTALDI, M. (1995): «Which regions really benefit from rail-truck substitution? Empirical evidence for Italy», *Papers in Regional Science* 74, n.º 1, 41-62.
- BORRA MARCOS, C. (2004), *La estimación de la demanda de transporte de mercancías. Una aplicación para Andalucía*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla.
- BOYER, K. D. (1997): *Principles of transportation economics*, Addison Wesley Longman, Inc.. Reading, Mass.
- CABRER BORRÁS, B., SANCHO PÉREZ, A., y SERRANO DOMINGO, G. (2001): *Microeconomía y decisión*, Ediciones Pirámide. Madrid.
- COTO-MILLÁN, P. (1995): «The conditioned demands of spanish sea transport 1975-1990», *International Journal of Transport Economics* 22, n.º 3, 325-346.
- DAUGHETY, A. F. (1979): «Freight transport demand revisited: A microeconomic view of multimodal, multicharacteristic service uncertainty and the demand for freight transport», *Transportation Research Part B* 13, n.º 4, 281-288.
- DAUGHETY, A. F., e INABA, F. S. (1978): «Estimating service-differentiated transport demand functions», *Transportation Research Record* 668, 23-30.
- DAUGHETY, A. F., e INABA, F. S. (1981): «An analysis of regulation change in the transportation industry», *Review of Economics and Statistics* 63, n.º 2, 246-55.
- DE RUS, G., y NASH, C. (1998): *Desarrollos recientes en Economía del Transporte*, Editorial Civitas. Madrid.
- DUNNE, J. P. (1984): «Elasticity measures and disaggregate choice models», *Journal of Transport Economics and Policy* 18, 189-197.
- FRIEDLAENDER, A. F., y SPADY R. H. (1980): «A derived demand function for freight transportation», *Review of Economics and Statistics* 62, n.º 3, 432-441.
- GENÇ, M.; INABA, F. S., y WALLACE, N. E. (1994): «From disaggregate mode-destination-quantity decisions to predictions of aggregate freight flows», *International Journal of Transport Economics* 21, n.º 3, 269-285.
- GREENE, W. H. (1999): *Análisis econométrico. Tercera edición*, Prentice Hall Iberia. Madrid.
- HARKER, P. T. (1987): *Predicting intercity freight flows*, VNU Science Press. Utrecht, The Netherlands.
- HENSHER, D. A. (1994): «Stated preference analysis of travel choices: The state of practice», *Transportation* 21, 107-133.
- HENSHER, D. A., y BUTTON, K. J. (2000): *Handbook of transport modeling*. Pergamon. Amsterdam
- HERCE, J. A., y DE RUS, G. (1996): *La regulación de los transportes en España*, Editorial Civitas. Madrid.
- HSING, Y. (1994): «Estimating the impact of deregulation on the elasticity of the demand for railroad services», *International Journal of Transport Economics* 21, n.º 3, 301-311.
- INABA, F. S., y WALLACE, N. E. (1989): «Spatial price competition and the demand for freight transportation», *Review of Economics and Statistics* 71, n.º 4, 614-25.
- JIANG, F., JOHNSON, P., y CALZADA, C. (1999): «Freight demand characteristics and mode choice: An analysis of the results of modeling with disaggregate revealed preference data», *Journal of Transportation and Statistics* 2, n.º 2, 149-158.
- JORGENSON, D. W. (1986): «Econometric methods for modelling producer behavior», en *Handbook of econometrics Vol.III* (Z. Griliches y M. Intriligator, editores), 1841-1915.
- KRESGE, D. T., y ROBERTS, P. O. (1971): «Systems analysis and simulation models», en *Techniques of transport planning, vol.II* J. R. Meyer (editor), 1-228.
- KULSHRESHTHA, M., NAG, B., y KULSHRESHTHA, M. (2001): «A multivariate cointegrating vector auto regressive model of freight transport demand: evidence from Indian railways», *Transportation Research Part A* 35, 29-45.
- LEE, L-F (1982): «Some approaches to the correction of the selectivity bias», *Review of Economic Studies* 49, 355-372.
- LEE, L-F., y TROST, R. P. (1978): «Estimation of some limited dependent variable models with application to housing demand», *Journal of Econometrics* 8, 357-382.
- LEONTIEF, W., y STROUT, A. (1963): «Multiregional input-output analysis», en *Input-output economics 2ª edición* (W. Leontief, editor), 129-161, 1986.

- LIEW, C. K., y LIEW, C. J. (1985): «Measuring the development impact of a transportation system: a simplified approach», *Journal of Regional Science* 25, n.º 2, 241-257.
- MATAS, A., y RAYMOND, J. L. (1999): «Elasticidad de la demanda en las autopistas de peaje» *Papeles de Economía Española* 82, 140-165.
- McFADDEN (1974): «Conditional logit analysis of qualitative choice behavior», en *Frontiers in Econometrics* (P. Zarembka, editor), 105-142.
- McFADDEN, D. L. (1978), «The theory and practice of disaggregate demand forecasting for various modes of urban transportation», en *Transport Economics: Selected readings* (Tae Hoon Oum et al., editores), pp. 51-79.
- McFADDEN, D.; WINSTON, C., y BOERSCH-SUPAN, A. (1985): «Joint estimation of freight transportation decisions under nonrandom sampling», en *Analytical studies in transport economics* (A. F. Daughety, editor), 137-157.
- ORTUZAR, J. de D., y WILLUMSEN, L. G. (2001): *Modeling Transport. Third edition*, John Wiley and Sons. Chichester.
- OUM, T. H. (1979a): «A cross sectional study of freight transport demand and rail-truck competition in Canada», *The Bell Journal of Economics* 10, n.º 2, 463-482.
- OUM, T. H. (1979b): «Derived demand for freight transport and inter-modal competition in Canada», *Journal of Transport Economics and Policy* 13, n.º 2, 149-168.
- OUM, T. H., WATERS II, W. G., y YONG, J-S. (1992): «Concepts of price elasticities of transport demand and recent empirical estimates», *Journal of Transport Economics and Policy* 26, 139-54.
- OUM, T. H., y WATERS II, W. G. (1998): «Contribuciones recientes al análisis de las funciones de coste aplicadas al transporte» en De Rus y Nash (1998), 73-131.
- PIÑERO DE MIGUEL, D. (2001): «Variables explicativas del régimen modal de transporte en el comercio de mercancías», *Estudios de Construcción y Transportes* 90, 89-100.
- REGAN, A. C., y GARRIDO, R. A. (2002): «Modeling freight demand and shipper behavior: State of the art and future directions», Institute of Transportation Studies Working Paper-02-2, Irvine: University of California.
- ROBERTS, P. O. (1977): «Forecasting freight demand» en *Transport decisions in an age of uncertainty. Proceedings of the Third World Conference on Transport Research*, (E. J. Viser, editor), pp. 247-264.
- ROBERTS, P. O., y CHIANG, Y. S. (1984): «Freight modal choice: a transport policy question», *Transport Policy and Decision Making*, 2, 231-247.
- SHINGHAL, N., y FOWKES, T. (2002): «Freight mode choice and adaptive stated preferences», *Transportation Research Part E*, 38, 367-378.
- SMALL, K. A., y WINSTON, C. (1999): «The demand for transportation: models and applications», en *Essays in transportation economics and policy*. (J. Gómez-Ibáñez, W. B. Tye y C. Winston, editores), 11-55.
- TRAIN, K. (2003): *Discrete choice methods with simulation*, Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- WESTBROOK, M. D., y BUCKLEY, P. A. (1990): «Flexible functional forms and regularity: Assessing the competitive relationship between truck and rail transportation», *Review of Economics and Statistics* 62, n.º 4, 623-630.
- WINSTON, C. (1981): «A disaggregate model of the demand for intercity freight transportation», *Econometrica* 49, n.º 4, 981-1006.
- WINSTON, C. (1983): «The demand for freight transportation: models and applications», *Transportation Research Part A* 17, n.º 6, 419-427.

- LIEW, C. K., y LIEW, C. J. (1985): «Measuring the development impact of a transportation system: a simplified approach», *Journal of Regional Science* 25, n.º 2, 241-257.
- MATAS, A., y RAYMOND, J. L. (1999): «Elasticidad de la demanda en las autopistas de peaje» *Papeles de Economía Española* 82, 140-165.
- MCFADDEN (1974): «Conditional logit analysis of qualitative choice behavior», en *Frontiers in Econometrics* (P. Zarembka, editor), 105-142.
- MCFADDEN, D. L. (1978), «The theory and practice of disaggregate demand forecasting for various modes of urban transportation», en *Transport Economics: Selected readings* (Tae Hoon Oum et al., editores), pp. 51-79.
- MCFADDEN, D.; WINSTON, C., y BOERSCH-SUPAN, A. (1985): «Joint estimation of freight transportation decisions under nonrandom sampling», en *Analytical studies in transport economics* (A. F. Daughety, editor), 137-157.
- ORTUZAR, J. de D., y WILLUMSEN, L. G. (2001): *Modeling Transport. Third edition*, John Wiley and Sons. Chichester.
- OUM, T. H. (1979a): «A cross sectional study of freight transport demand and rail-truck competition in Canada», *The Bell Journal of Economics* 10, n.º 2, 463-482.
- OUM, T. H. (1979b): «Derived demand for freight transport and inter-modal competition in Canada», *Journal of Transport Economics and Policy* 13, n.º 2, 149-168.
- OUM, T. H., WATERS II, W. G., y YONG, J.-S. (1992): «Concepts of price elasticities of transport demand and recent empirical estimates», *Journal of Transport Economics and Policy* 26, 139-54.
- OUM, T. H., y WATERS II, W. G. (1998): «Contribuciones recientes al análisis de las funciones de coste aplicadas al transporte» en De Rus y Nash (1998), 73-131.
- PIÑERO DE MIGUEL, D. (2001): «Variables explicativas del régimen modal de transporte en el comercio de mercancías», *Estudios de Construcción y Transportes* 90, 89-100.
- REGAN, A. C., y GARRIDO, R. A. (2002): «Modeling freight demand and shipper behavior: State of the art and future directions», Institute of Transportation Studies Working Paper-02-2, Irvine: University of California.
- ROBERTS, P. O. (1977): «Forecasting freight demand» en, *Transport decisions in an age of uncertainty. Proceedings of the Third World Conference on Transport Research*, (E. J. Viser, editor), pp. 247-264.
- ROBERTS, P. O., y CHIANG, Y. S. (1984): «Freight modal choice: a transport policy question», *Transport Policy and Decision Making*, 2, 231-247.
- SHINGHAL, N., y FOWKES, T. (2002): «Freight mode choice and adaptive stated preferences», *Transportation Research Part E*, 38, 367-378.
- SMALL, K. A., y WINSTON, C. (1999): «The demand for transportation: models and applications», en *Essays in transportation economics and policy*. (J. Gómez-Ibáñez, W. B. Tye y C. Winston, editores), 11-55.
- TRAIN, K. (2003): *Discrete choice methods with simulation*, Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- WESTBROOK, M. D., y BUCKLEY, P. A. (1990): «Flexible functional forms and regularity: Assessing the competitive relationship between truck and rail transportation», *Review of Economics and Statistics* 62, n.º 4, 623-630.
- WINSTON, C. (1981): «A disaggregate model of the demand for intercity freight transportation», *Econometrica* 49, n.º 4, 981-1006.
- WINSTON, C. (1983): «The demand for freight transportation: models and applications», *Transportation Research Part A* 17, n.º 6, 419-427.