A Microeconometric Approach to the Determinants of Travel Mode Choice

Pablo Marcelo Garcia*
Centro de Estudios para la Producción
pmgarci@mecon.gov.ar

Abstract

The transportation system is a fundamental component of the urban economic development, with its generating feature of negative supply externalities standing out (and, as a result, of the satisfied demand for some kind of this supply's structure) related to congestion and environmental pollution. In this context, the paper studies customers' reaction in light of changes in the relative prices, to thus evaluate the effect of different political measures. For that reason, a discrete choice model has been designed which reflects the election of travel mode used by commuters around the city of Buenos Aires.

JEL: C5 - L9

Resumen

El sistema de transporte es un componente fundamental en el desarrollo de las economías urbanas, destacándose su carácter generador de deseconomías externas de la oferta (y, por ende, de la demanda satisfecha por una cierta estructura de ésta) asociadas a la congestión y la contaminación ambiental. En este contexto, el presente trabajo estudia la reacción de los consumidores del servicio de transporte ante modificaciones en los precios relativos, para así poder evaluar el efecto de las distintas medidas de política. Para ello se diseñó un modelo de elección discreta que intenta reflejar la elección del modo de viaje de los usuarios del servicio en la Ciudad de Buenos Aires.

JEL: C5 - L9

---

* Quisiera agradecer los valiosos comentarios de Alfredo Canavese, Angel Capurro, Alberto Müller, Luis Rizzi, Leila Nazer, Laura Ramos y un referee anónimo. Como es de rigor, los errores u omisiones son de mi entera responsabilidad.

"Una Aproximación Microeconométrica a los Determinantes de la Elección del Modo de Transporte"*

Pablo M. Garcia

1 Introducción

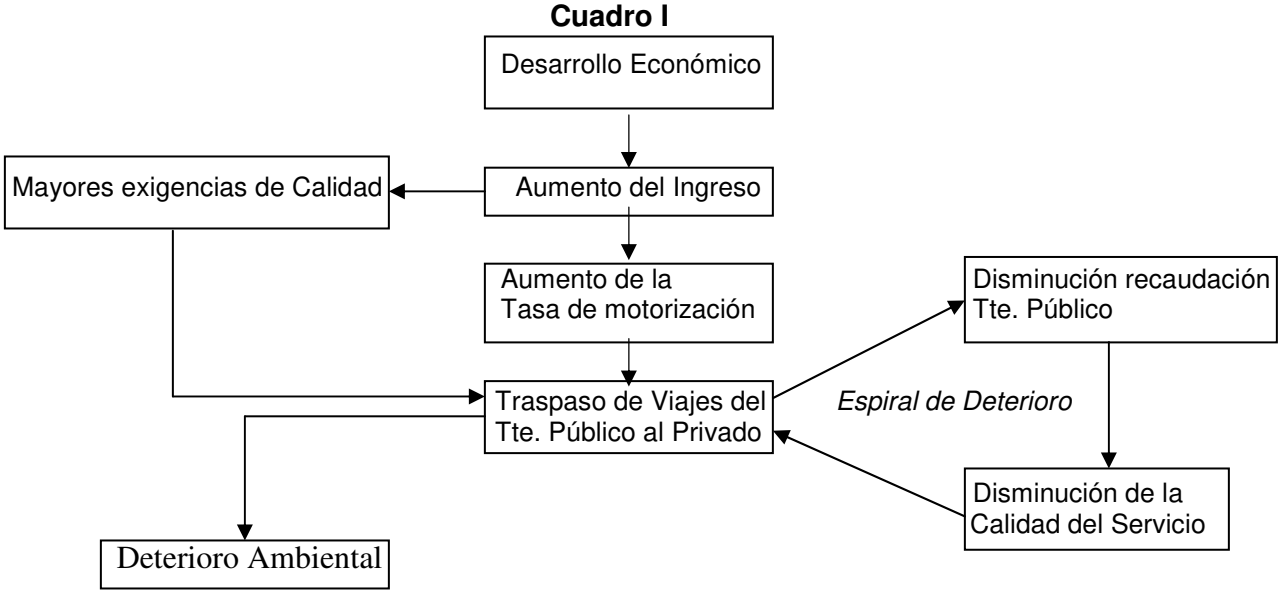
El presente trabajo tiene por objeto presentar un marco de análisis para estudiar la reacción de los consumidores del servicio de transporte urbano ante modificaciones en distintos atributos del servicio (p.e. Tiempo de viaje, costo, etc.) y características de los consumidores (p.e. ingreso) de forma tal de poder evaluar el impacto en la demanda en los diversos modos de transporte ante distintas medidas de política económica. A su vez se realiza una aplicación del mencionado método de análisis al caso del transporte urbano en la Ciudad de Buenos Aires (CBA).

La mayoría de los sistemas de transporte de las grandes ciudades han experimentado en algún momento un comportamiento particular, al que no escapa la CBA. El desarrollo económico de las grandes urbes ha generado un incremento en el nivel de ingreso de sus habitantes, el cual, sumado al desarrollo tecnológico (que permite tener acceso a mejores automóviles a un menor costo) ha llevado a que se produzca un fuerte aumento en la tasa de motorización (entendiéndose por esta la cantidad de automóviles en circulación).

Este proceso ha generado un traspaso de los viajes en transporte público al transporte privado (automóvil) provocando un mayor deterioro ambiental. Este proceso suele consolidarse, e incluso retroalimentarse, ya que al disminuir la cantidad de viajes en transporte público, cae también la recaudación de estos servicios, lo que conlleva una reducción en la calidad de los mismos que, a su vez, provoca un mayor incentivo a movilizarse en automóvil. La economía del transporte suele denominar a este proceso "espiral del deterioro". Este fenómeno se ve potenciado al tener en cuenta que poblaciones con mayores niveles de ingreso suelen exigir una mayor calidad en el servicio de transporte público, agravando el problema.

En el cuadro I se intenta esquematizar este proceso.

Cuadro I



Ante una situación como la descripta resulta relevante el rol del Estado, ya sea como regulador del sistema o como prestador del servicio, dado el carácter fuertemente generador de deseconomías externas de la oferta (y, por ende, de la demanda satisfecha por una cierta estructura de ésta), que es uno de los elementos significativos de la condición no competitiva del sector, por lo que la intervención del Estado mediante políticas públicas correctoras se torna necesaria.

En este marco, se pretende estudiar *cuál sería la reacción de los consumidores del servicio de transporte ante modificaciones en los precios relativos,* para así poder evaluar el efecto de las distintas medidas de política. La pregunta que se intenta responder no resulta irrelevante, dado que la magnitud de las inversiones en infraestructura son muy costosas y las modificaciones tarifarias o impositivas afectan prácticamente a la totalidad de la población.

A los efectos de llevar a cabo el objetivo propuesto, el trabajo se encuentra dividido básicamente en dos partes. La primera se aboca a presentar los principales aspectos teóricos de los sistemas de transporte urbano y de los modelos de elección discreta y, en la segunda, se aplican los conceptos anteriores al caso del transporte urbano en la CBA.

La primera parte incluye las secciones 2 y 3, donde se estudian sucesivamente los aspectos conceptuales de los sistemas de transporte y los modelos de elección discreta, poniendo énfasis en la teoría de la utilidad aleatoria y en la estimación econométrica de este tipo de modelos. La parte empírica se divide en dos secciones (4 y 5). En la primera se describe la conformación de la base de datos a utilizar y, en la segunda, se calibra el modelo y se discute la bondad de las estimaciones. Por último, en la sección 6, se expresan las principales conclusiones y recomendaciones.

2. Características de los Sistemas de Transporte[1]

Al realizar un análisis económico del sistema de transporte se deben tener en cuenta diferentes aspectos. Por un lado, los problemas que se derivan de la producción del servicio (oferta) y, por otro, los subyacentes a la satisfacción de las necesidades en esta materia (demanda). Es en este último aspecto donde se centrará el presente trabajo.

La *oferta de transporte* absorbe cuantiosos recursos de inversión y tiene una duración muy prolongada abarcando, en general, más de una generación. Al mismo tiempo, la oferta es indivisible, tiene una capacidad máxima de saturación, no es transable e induce capacidades monopólicas a favor de sus poseedores.

Debe tenerse en cuenta que el transporte es un servicio altamente cualitativo y diferenciado. Para su producción tiene una importancia clave el stock de capital y la inversión que conforma dicho stock. Esta es la denominada *infraestructura de transporte* y su importancia radica en la propia naturaleza de la oferta de este capital. Es altamente costoso y no es una mercancía que lleve a una configuración de mercado de tipo competitiva, ya que una vez que se realiza la inversión en infraestructura (p. e. se construye una autopista), no es económicamente eficiente ofrecer una infraestructura semejante para competir con la anterior, es decir, son monopolios naturales.

Por otro lado, “su duración es prolongada siendo dificultoso establecer un “precio de mercado” para él (en forma más categórica que en otros bienes de capital, no existe para estos

[1] No se pretende hacer aqui una descripción detallada de los sistemas de transporte, el lector interesado en el tema puede consultar p. e. Small, K (1992), Button, K.J. (1993) u Otuzar, J. D. & Willumsen, L. D. (1994)

bienes un mercado de “segunda mano”) lo cual, junto a su duración, acentúa el grado de arbitrariedad existente para establecer su amortización”. Villadeamigo, José (1998).

Adicionalmente, el servicio genera costos o deseconomías externas, las cuales pueden alcanzar magnitudes muy importantes, inclusive a corto plazo. Las mismas suelen estar asociadas principalmente a la *congestión*, donde el desplazamiento propio se ve estorbado por el de otros produciendo mayores tiempos de viaje, *la contaminación ambiental*, dado que la totalidad de los modos de transporte provocan algún tipo de contaminación en el aire que repercute en la salud de los demás y el creciente *numero de accidentes*. También existen externalidades negativas asociadas a la contaminación acústica, las vibraciones indeseadas y la intrusión visual.

Estas son algunas de las características que llevan a que no se pueda atribuir al transporte urbano los mecanismos de ajuste automático capaces de generar los mayores beneficios privados y sociales propios de los mercados de competencia perfecta. Esto hace fundamental el rol del Estado y el cuidado que debe tomarse al decidir políticas de transporte.

En cuanto a la demanda de transporte, su principal característica es que es derivada[2], es decir que no existe per se: Tanto las personas como las mercancías se desplazan en el espacio en respuesta a otras necesidades, como ser trabajar, estudiar, esparcimiento, etc.; pero no por la movilización en sí. Adicionalmente, la demanda de transporte posee un importante componente espacial y es variable en el tiempo, tornando compleja su modelación.

Existen distintos modelos para representar la demanda de transporte en función de cuál sea el objeto de estudio. Los más utilizados son los modelos de generación, atracción, distribución y elección modal. Los modelos de generación y atracción de viajes, permiten estimar el número de viajes generados y atraídos, por cada segmento de la demanda, en cada zona de estudio, en tanto los modelos de distribución tienen como objetivo analizar los viajes entre cada zona de origen y cada zona de destino y, finalmente, los modelos de elección modal permiten estudiar los determinantes de la elección del modo de viaje. Este último es el tipo de modelos que se desarrolla en el presente trabajo.

3 Modelos de Elección Discreta [3]

Una de las premisas fundamentales de los modelos que reflejan la conducta del consumidor, es que los individuos eligen la mejor de las canastas de consumo que encuentran a su alcance, de lo que se deduce que las decisiones que toman reflejan que *prefieren* dicha canasta a cualquier otra que podrían haber tomado. Partiendo de esta premisa, la teoría de la *preferencia revelada*[4] nos permite estudiar, a partir de la información sobre la demanda de los consumidores, las preferencias, que no son directamente observables.

En consecuencia, a partir del análisis de la preferencia revelada, se pueden diseñar modelos de elección discreta que reflejen el comportamiento de los consumidores respecto a la elección del modo de viaje para poder evaluar, a posteriori, el efecto sobre la demanda de transporte de distintas alternativas de política económica.

---

[2] A excepción de los viajes por el placer de viajar los que suelen ser de una significación relativa muy baja.

[3] Una descripción completa y detallada de los modelos de eleccion discreta, su evolución y estado actual se encuentra en McFadden, D (2001).

[4] Para analizar mercados hipotéticos se suele recurrir a la teoría de la preferencia declarada, dado el carácter hipotético del mercado, no es posible que los individuos “revelen” sus preferencias, en consecuencia existen técnicas para indagar sobre la conducta que estos tendrían en dicho mercado. Para aplicaciones al transporte de estas técnicas se puede consultar Willumsen, L (1994).

En los modelos de elección discreta, se considera que los individuos deben escoger entre un conjunto de alternativas (choice set) predeterminadas, y la elección la realizan tomando la acción que les maximiza su utilidad neta personal, sujeto a restricciones legales, sociales, ambientales, presupuestarias, etc.

La noción de utilidad es un artificio teórico que consiste en asociar un índice al nivel de satisfacción relativo de consumir un bien en particular, tomando en cuenta que los bienes no producen utilidad *per se*, sino que ésta se deriva de los servicios asociados a dichos bienes y, a su vez, estos servicios se pueden describir en función de un conjunto de atributos como, por ej., tiempo de viaje, costo, seguridad, etc.

El nivel de utilidad que deriva un individuo de una elección en particular es una combinación de los atributos del bien ponderados por la importancia relativa de cada uno de ellos. Es decir que *los individuos maximizan su utilidad a través del consumo de un paquete de atributos que definen niveles de servicio*.

Entenderemos por elección al proceso que lleva a que un individuo escoja entre un conjunto de bienes que percibe como discretos y que forman parte de un conjunto de opciones disponibles. Cabe notar que aquí, a diferencia de la mayoría de los estudios de demanda individual, donde interesa saber qué cantidad consumirá un individuo de un determinado bien (la pregunta relevante es cuánto), nos importa estudiar cuál será la alternativa que escoja el individuo (la pregunta relevante no es cuánto sino cuál).

3.A Teoría de la Utilidad Aleatoria

McFadden (1974), provee una útil herramienta para explicar el proceso de elección de los individuos entre un conjunto de alternativas disponibles: la teoría de la utilidad aleatoria.

Sea $A=\{A_1,\ldots,A_i,\ldots A_N\}$ el conjunto de alternativas, mutuamente excluyentes, disponibles para el individuo q y $X=\{X_{1q},\ldots,X_{kq},\ldots X_{Kq}\}$ el conjunto de atributos de la persona y sus alternativas, cada una de las alternativas tiene asociada una utilidad U_{iq} para cada uno de los individuos. La teoría de la utilidad aleatoria postula que dicha utilidad posee dos componentes, uno observable y medible ($\overline{U}_{iq}$) que es función de los atributos X_{iq} y otro estocástico (ε_{iq}) que refleja, además de los errores de medición y observación, los gustos, costumbres, etc. de cada individuo; este componente aleatorio permite explicar por qué individuos con idénticas características eligen alternativas distintas y por qué algún individuo no elige la alternativa que a priori parece mas conveniente.

O sea, se postula que:

$$U_{iq} = \overline{U}_{iq} + \varepsilon_{iq} \qquad (1)$$

Tal como se planteó con anterioridad el individuo elegirá aquella alternativa que maximiza su utilidad, es decir que si el individuo q elige la alternativa A_i es porque:

$$U_{iq} > U_{jq}, \quad \forall A_j \in A(q) \qquad (2)$$

Donde $A(q)$ es el conjunto de alternativas disponibles para el individuo *q.* Esto es similar a decir que

$$\overline{U}_{iq} - \overline{U}_{jq} > \varepsilon_{jq} - \varepsilon_{iq} \qquad (3)$$

Al ser los valores de (ε_{iq} - ε_{jq}) desconocidos y estocásticos, no es posible determinar con certidumbre si la inecuación (3) se cumple. Por lo tanto deben asignarse probabilidades a la elección de cada una de las alternativas, entonces la probabilidad de que el individuo *q* elija la alternativa A_i será:

$$P_{iq} = \Pr ob\left\{\varepsilon_{iq} \geq \varepsilon_{jq} + (\overline{U}_{jq} - \overline{U}_{iq})\right\} \quad \forall A_j \in A(q) \qquad (4)$$

Para estimar esta probabilidad, sabemos que las variables aleatorias $\boldsymbol{\varepsilon}$ poseen una distribución determinada y, según los supuestos que se adopte sobre ésta, se pueden generar distintos modelos. En particular, si adoptamos que los residuos son independientes e idénticamente distribuidos Gumbell, se obtiene el modelo logit multinomial. Mc Fadden (1974).

Si la parte no aleatoria de la ecuación (1) es:

$$\bar{U}_{iq} = \sum_{k=1}^{K} \theta_{ik} X_{ikq} \qquad (5)$$

siendo θ_{ik} los parámetros a estimar, que reflejan la utilidad marginal (no estocástica) de cada uno de los atributos. Nótese que los parámetros difieren por alternativa y por atributo, no por individuo. La forma que adquiere la función de utilidad y las características de las alternativas provienen de la teoría microeconómica, aunque en la práctica es usual utilizar aproximaciones lineales como las que se emplean en el presente trabajo. De todas formas, el modelo no es lineal, aunque posee la particularidad de que las variables explicativas afectan a la variable dependiente a través de un índice lineal ($\sum_{k=1}^{K} \theta_{ik} X_{ikq}$) que luego es transformado por una función de distribución de forma tal que los valores sean consistentes con los de una probabilidad.

Se puede demostrar, McFadden (1974), que la probabilidad de elección de la alternativa A_i por el individuo *q* es igual a:

$$P_{iq} = \frac{e^{\bar{U}_{iq}}}{\sum_j e^{\bar{U}_{jq}}} = \frac{e^{\sum_{k=1}^{K} \theta_{ik} X_{ikq}}}{\sum_j e^{\sum_{k=1}^{K} \theta_{jk} X_{jqk}}} \qquad (6)$$

Este modelo es relativamente sencillo de calibrar y se ha generalizado su uso. El modelo asume la inexistencia de correlación entre las distintas alternativas disponibles. Esta es la propiedad de independencia de alternativas irrelevantes, lo que puede llevar a que el modelo provea estimaciones sesgadas si algunas de las alternativas se encuentran correlacionadas entre si.

Un modelo menos restrictivo es el Probit Multinomial, que solo requiere que los residuos estocásticos sigan una distribución normal multivariada, este modelo posee la ventaja de ser teóricamente más general aunque su calibración es compleja. Los métodos de integración numérica no son eficientes en problemas de optimización cercanos al óptimo ya que genera

estimaciones sesgadas y si se utilizan los métodos de máxima verosimilitud, es posible la existencia de múltiples óptimos en la función de verosimilitud[5].

Estos problemas han llevado a que se utilicen mayormente los modelos logit multinomial o extensiones del mismo, como ser los modelos logit jerárquico o logit mixto[6]. Dado que en el presente trabajo se utilizará un modelo logit multinomial, a continuación se desarrollan con más detalle los problemas en la estimación de los mismos.

3.B Estimación Econométrica de los modelos Logit Multinomial

La estimación de los parámetros θ_{ik} se realiza por el método de máxima verosimilitud, dicho método plantea que aunque una muestra pueda provenir de distintas poblaciones, existe una para la cual hay mayor probabilidad de que esto ocurra. Entonces, los estimadores calculados por máxima verosimilitud son el conjunto de parámetros que generaría mas a menudo la muestra observada, o sea que son los θ_{ik} que tienen mayor probabilidad de haber generado la muestra observada. McFadden (1974) ha demostrado que la función de verosimilitud de este tipo de modelos es bien comportada y tiene un único máximo si la utilidad es lineal en los parámetros como hemos supuesto aquí.

3.C Identificación de los parámetros de interés

Los parámetros de un modelo se encuentran identificados cuando para un conjunto determinado de observaciones los estimadores de dichos parámetros poseen valores únicos o, lo que es igual, a partir de una determinada muestra existe solamente un estimador para un parámetro dado.

La probabilidad de elección de una alternativa determinada viene dada por la ecuación (6), es válido multiplicar numerador y denominador por $e^{\sum_{k=1}^{K} \tau_{ik} X_{ikq}}$ sin que la igualdad se modifique.

Donde τ_{ik} es un vector de constantes arbitrarias, de esta forma obtendríamos:

$$P_{iq} = \frac{e^{\sum_{k=1}^{K} \theta_{ik} X_{ikq}}}{\sum_{j} e^{\sum_{k=1}^{K} \theta_{jk} X_{jqk}}} \frac{e^{\sum_{k=1}^{K} \tau_{ik} X_{ikq}}}{e^{\sum_{k=1}^{K} \tau_{ik} X_{ikq}}} = \frac{e^{\sum_{k=1}^{K} (\theta_{ik} + \tau_{ik}) X_{ikq}}}{\sum_{j} e^{\sum_{k=1}^{K} (\theta_{jk} + \tau_{ik}) X_{jqk}}} \qquad (7)$$

El problema es que no es posible estimar el parámetro θ_{ik} independientemente de τ_{ik}. Sólo se los puede estimar en forma conjunta con lo que tendríamos un problema de

[5] Para un tratamiento detallado de los problemas de estimación de modelos Probit Multinomial se puede ver: Manski, C. F. y Lerman, S. R. (1978) o Bunch, D.A. (1991).

[6] Los últimos desarrollos en modelos de elección discreta han avanzado hacia estimaciones de tipo semi paramétrica o no paramétrica. Por ej. Matzkin, R. (1991) y Matzkin, R. (1992). En Garcia P. M. (2001) se presenta una aplicación semi-parametrica para el caso del transporte público en Argentina).

identificación, ya que esto llevaría a que del mismo conjunto de datos se pueda estimar θ_{ik} o $(\theta_{ik}+\tau_{ik})$. Para solucionar este tipo de problema se fijan los parámetros de una de las alternativas como referencia con valor 0, sin pérdida de generalidad, y se estiman los parámetros correspondientes a las otras alternativas y, luego, la probabilidad de que el individuo *q* elija la alternativa que se tomó como referencia es igual a uno menos la sumatoria de la probabilidad de elección de las otras alternativas. Entonces la probabilidad de que el individuo *q* opte por la alternativa *i* será:

$$P_{iq} = \frac{e^{\sum_{k=1}^{K} \theta_{ik} X_{ikq}}}{\sum_{j=2} e^{\sum_{k=1}^{K} \theta_{jk} X_{jqk}} + 1} \tag{8}$$

Donde $\theta_{1k} = 0$

En muchas ocasiones es interesante estudiar las variaciones porcentuales en el volumen total de la demanda ante modificaciones en los distintos atributos, para ello se recurre al calculo de las elasticidades, dado que en nuestro caso estamos modelando la probabilidad de elección de una determinada alternativa, podemos calcular la elasticidad de la probabilidad de elección respecto a un atributo. La elasticidad directa puntual viene dada por la ecuación (9).

$$E_{X_{ikq}}^{P_{iq}} = \frac{\partial P_{iq}}{\partial X_{ikq}} \frac{X_{ikq}}{P_{iq}} \tag{9}$$

Realizando la derivación analítica (ver apéndice I) se demuestra que:

$$E_{X_{ikq}}^{P_{iq}} = P_{iq} \sum_{k} \theta_{ik} \left[1 - P_{iq}\right] \frac{X_{ikq}}{P_{iq}} \tag{10}$$

Siguiendo similar procedimiento para el caso en que se quiera estudiar la elasticidad de la probabilidad de elección de una alternativa respecto a los atributos asociados a otras alternativas, se obtiene que:

$$E_{X_{jkq}}^{P_{iq}} = -\theta_{jk} X_{jkq} P_{jq} \tag{11}$$

Es interesante notar que la elasticidad directa tiende a 0 en aquellos casos en que la probabilidad de escoger la alternativa A_i tiende a 1. Es decir que, a medida que aumenta la probabilidad de elegir una alternativa, menor es la modificación porcentual a producirse en dicha probabilidad ante cambios, también porcentuales, en los atributos de la alternativa o el individuo. Por otro lado, la elasticidad directa tiende a $\sum_{k} \theta_{ik} \cdot X_{ikq}$. Ocurre algo contrario en el caso de la elasticidad cruzada.

Para evaluar medidas de política que afecten al sector es importante conocer las elasticidades agregadas. Para ello no es correcto evaluar las elasticidades individuales, antes calculadas, para los promedios muestrales de las probabilidades y los atributos, ya que el modelo logit multinomial no es lineal; entonces, de seguir este procedimiento incurriríamos en errores de agregación. Para solucionar estos problemas, Ortúzar (2000) propone utilizar los métodos de enumeración muestral que llevan a que se evalúen las ecuaciones para cada individuo y luego se agreguen, ponderando cada elasticidad por la probabilidad de elección

estimada para cada individuo. Aplicando este método, se obtiene que la elasticidad de la probabilidad agregada de elegir la alternativa A_i es:

$$E_{X_{jk}}^{\bar{P}_i} = \left(\sum_{q=1}^{Q} \hat{P}_{iq} \cdot E_{X_{jkq}}^{P_{iq}} \right) \sum_{q=1}^{Q} \hat{P}_{iq} \qquad (12)$$

Se pueden combinar las elasticidades de diferentes formas que resultan útiles cuando se quiere estudiar los niveles de respuesta agregados para distintos segmentos del mercado, siendo igual a la suma de las elasticidades de los segmentos (p. e. ingreso, alto, medio y bajo) ponderada por la proporción de mercado de cada una. También se puede estudiar la elasticidad agregada sobre alternativas, la que es igual a la suma de las elasticidades de cada alternativa, ponderada por la proporción de mercado de cada una.

4. Aplicación Empírica: Elección del modo de transporte en la Ciudad de Buenos Aires

Luego de realizado el estudio teórico concerniente al funcionamiento de los sistemas de transporte y los modelos de elección discreta (trabajo realizado en los apartados anteriores), en el presente acápite nos abocaremos a la aplicación de los conceptos analizados al estudio del transporte urbano en la CBA.

El sistema de transporte en la CBA parece no escapar al comportamiento observado en buena parte de los sistemas de transporte de las grandes ciudades. Tal como se estudia al principio de este trabajo, las grandes urbes han experimentado en algún momento un proceso que lleva a un fuerte aumento en la tasa de motorización y un traspaso de los viajes en transporte público al transporte privado (automóvil), lo cual trae aparejado un mayor deterioro ambiental, problemas de congestión y un aumento en el número de accidentes.

Los gráficos I y II reflejan la evolución de los viajes en transporte público (autotransporte de pasajeros, ferrocarril de superficie y ferrocarril subterráneo) y la cantidad de automotores patentados en la RMBA[7]. Allí puede observarse la fuerte disminución de los viajes en transporte público, en particular en el caso del autotransporte de pasajeros. En cuanto al ferrocarril, éste experimenta un aumento a partir del año 1993, fecha en que se concesiona a prestadores privados la explotación del servicio. Al concretarse la concesión, se produjo una fuerte reducción en la evasión del pago por el uso del mismo y, por lo tanto, el aumento en los viajes en ferrocarril a partir de dicho año refleja sólo en parte un aumento de viajes efectivos, ya que una parte sustancial del aumento de viajes registrados se debe a pasajeros que anteriormente no abonaban el servicio y ahora sí lo hacen.

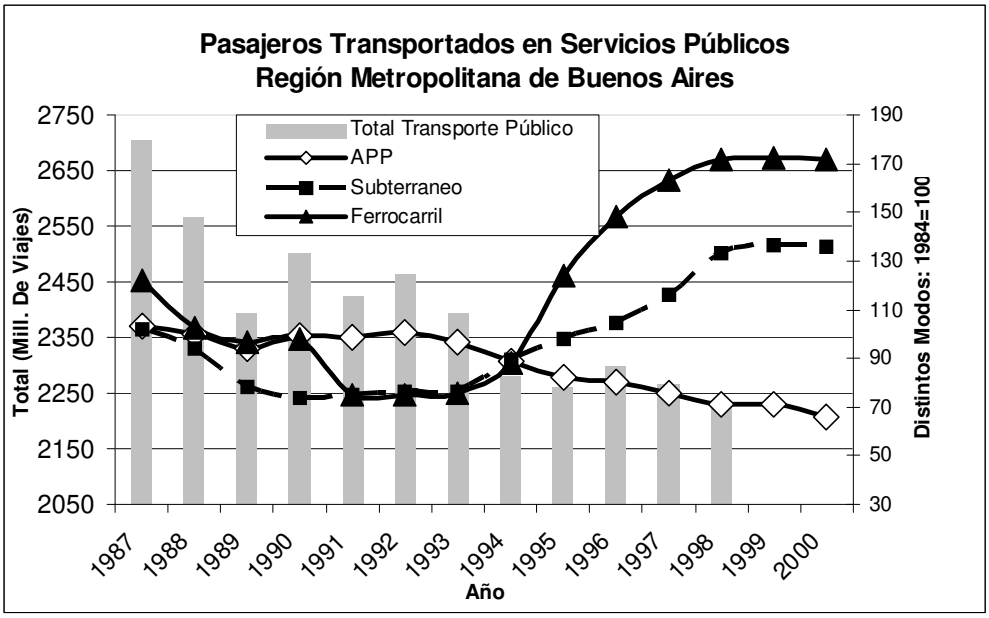
En cuanto al patentamiento, éste ha tenido un importante y sostenido crecimiento durante el período 1980-2000 con un aumento del 60.8%, lo que implica una tasa de crecimiento promedio anual del 2.53%[8]. Tal como puede observarse en el gráfico II dicho crecimiento se ha acelerado a partir del año 1994.

---

[7] El parque automotor es una variable proxi de la motorización, se entiende por este el total de autos patentados existentes en una Región. El patentamiento no refleja necesariamente el total de automóviles en circulación ya que pueden existir automóviles patentados y que no estén en circulación, como así también automóviles que circulan en la Región sin el correspondiente patentamiento o que estén patentados fuera del área de estudio.

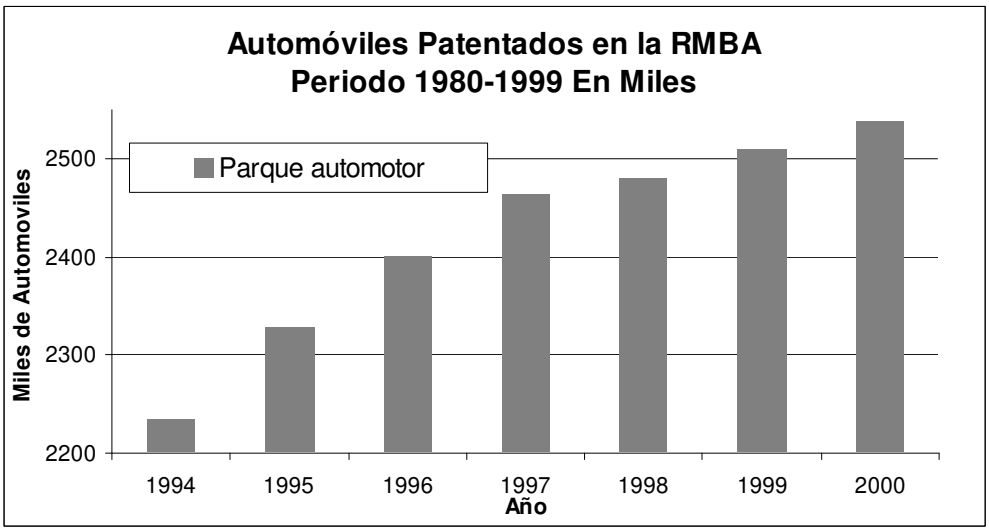
[8] Cabe destacar que en el año 1994 se realizo una reestimación del parque automotor lo que hace que la serie no sea completamente homogénea, ello explica en parte la caída que se produce en dicho año.

Grafico I



Fuente: Secretaria de Transporte de la Nación Y CNRT.

Grafico II



Fuente: Elaboración Propia en base a: ADEFA y Dirección de Estadística de la Prov. De Bs. As.

El proceso aquí descripto ha llevado a que el transporte en la CBA experimente un fuerte deterioro y, como se señaló anteriormente, toda medida que se tome para intentar solucionar los problemas referidos a las deseconomías externas (p. e., fijación diferencial de tarifas, mecanismo de subsidios, etc.), requiere conocer la reacción de los individuos (demandantes del servicio) ante los diferentes mecanismos de incentivos. Con el fin de colaborar con este objetivo se realiza el presente trabajo empírico.

En el mismo se construye un modelo multinomial de elección discreta para el transporte en la CBA, considerando que los individuos pueden optar entre cuatro modos alternativos de transporte, los cuales se clasificaron de la siguiente forma:

Cuadro II

Código	Modo
1	Automóvil
2	Ómnibus
3	Subterráneo
4	Tren

Como variables explicativas del modelo se utilizan: el ingreso de los individuos, el costo de viaje (tarifas para transporte público y los costos operativos en el caso del automóvil particular) y el tiempo de viaje, se controló mediante variables dummy la distancia del viaje respecto a los distritos identificados como de mayor atracción de viajes (de ahora en adelante, centro[9]) y la accesibilidad o no a los distintos medios de transporte (dado que la oferta de servicios públicos de transporte es fija).

Trabajaremos con un modelo de elección multinomial con datos de corte transversal. En consecuencia, las principales fuentes de información son las encuestas de movilidad desagregadas por individuos de quienes se obtienen los valores referidos a la cantidad de viajes que realizan, el ingreso que poseen, el modo de transporte utilizado, etc.

Es importante destacar que la información disponible para la CBA no cuenta con el grado de detalle, desagregación y actualización que se hubiera deseado para un trabajo de estas características, por lo que los resultados obtenidos deben tomarse como indicativos y de ninguna manera concluyentes.

La información básica a utilizar es la proveniente de la "Encuesta Domiciliaria de Origen-Destino de Viajes para la Región Metropolitana de Buenos Aires" realizada en el año 1992, la cual contiene la matriz de origen-destino de viajes agregada según Distritos Escolares, en el caso de la CBA, y según Municipios para el Gran Buenos Aires (GBA). El presente análisis se limita a estudiar el flujo de viajes con origen y destino en CBA.

La información del año 1992 referida a los vehículos particulares y autotransporte de pasajeros se actualizó, hasta el año 2000, en función de los conteos de tránsito realizados por la Dirección Nacional de Vialidad y la Secretaría de Transporte de la Nación y datos de la Comisión Nacional de Regulación del Transporte, confeccionándose una nueva matriz de origen destino para el año 2000 que incluye solamente los viajes realizados entre las 8:30 y 9: 30 hrs. (denominada hora pico de la mañana)[10]. Es decir que *el modelo intenta explicar el proceso de elección modal a partir del patrón de movilidad de un día representativo del año 2000 en la hora pico de la mañana*.

En cuanto a la información de ferrocarriles, tanto de superficie como subterráneo, se utilizó la información de los concesionarios. Se calculó un factor de hora pico en función de la cantidad de boletos vendidos por hora. Dicho factor se aplicó a la información del año 1992 y luego se expandieron los valores de ese año en función del total de boletos vendidos por línea, obteniéndose una matriz de origen-destino para la hora pico de la mañana en el año 2000[11].

Con el fin de asignar un nivel de ingreso a cada individuo, se recurrió a la información sobre ingresos medios por distritos escolares del informe "Estimación de la Morosidad y Evasión

[9] Se identificaron como "centro" a los siguientes distritos: Microcentro, Retiro, Recoleta, Once, Almagro, Barrio Norte, Palermo y Belgrano.

10 Esta actualización se realizo utilizando el software TRANSCAD y considerando una red vial simplificada que considera solo autopistas y avenidas principales.

11 En este caso las matrices se calibraron mediante el método de Fratar-Furness

Tributaria en la CBA"[12]. En dicho trabajo se agrupan los distritos escolares por categorías de ingreso (alto, medio y bajo), las cuales a su vez se subdividen de acuerdo a la proporción de su población que percibe ingresos altos, medios y bajos. De esta manera se obtuvieron nueve categorías de ingreso. La forma de asignar el ingreso por individuo fue la siguiente: al total de viajes con origen en el primer distrito -clasificado como de alto ingreso -se lo dividió en función del porcentaje de la población del mismo que percibe ingresos altos, medios o bajos, asignándole el ingreso medio correspondiente a cada una de las categorías. El mismo procedimiento se siguió para cada uno de los distritos y los cinco modos analizados. A modo de ejemplo, se ilustra un caso hipotético para un Distrito X y un Modo de Transporte Y genérico:

Cuadro III
Caso hipotético
Distrito X Modo Y sobre un total supuesto de 30 viajes

Categoría de Ingreso	Ingreso Medio	% de la Población	Cantidad de Viajes
Alto	2000	0,4	12
Medio	1000	0,3	9
Bajo	500	0,3	9
Total		1	30

En base al cuadro III, a 12 individuos del distrito X que eligieron viajar en el modo Y se les asigna un ingreso de $2000, a 9 uno de $1000 y a los restantes un ingreso de $500.

Este procedimiento supone que la distribución del ingreso es la misma para los usuarios de los diferentes modos de transporte, dado que al asignar los ingresos se supuso que el porcentaje de la población con ingresos altos, medios y bajos se mantenía constante para los usuarios de los diferentes modos de transporte[13].

Los valores del costo de viaje, en el caso del transporte público, están conformados básicamente por el valor de la tarifa y la información se recopiló de la Comisión Nacional de Regulación del Transporte Automotor. En el caso del modo Ómnibus y para los viajes por Ferrocarril y Subterráneo se utilizó la información elaborada por el Centro de Estudios del Transporte en la RMBA.

A fin de estimar el costo medio de viaje en automóvil, se utilizaron los datos del estudio "Costo Operativo de Vehículos" elaborado por Vialidad Nacional los que incluyen tanto los costos de mantenimiento como de combustible.

Los tiempos de viaje para el transporte público se confeccionaron utilizando la información de los prestadores del servicio, y en el caso de los vehículos particulares se calcularon los tiempos de viaje utilizando la función propuesta por el Bureau of Public Roads (1964) que probablemente es la función de tiempo de viaje más usual, siendo su forma funcional:

$$t = t_0\left[1 + \alpha\left(V/Q\right)^{\beta}\right] \qquad (14)$$

12 Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Unidad Ejecutora Central (1998). Proyecto "Estimación de la Morosidad y Evasión Tributaria en la CBA"

13 Atento a esto se realizo el análisis tomando distintas hipótesis sobre la distribución del ingreso entre usuarios de distintos modos encontrándose que los resultados no diferían sustancialmente.

donde: t_0 es el tiempo de viaje en un tramo determinado bajo condiciones de flujo libre, V es el volumen de tránsito del tramo, Q es la capacidad del tramo, α, β son los parámetros de la función, y t es el tiempo de viaje del tramo.

Se utilizaron los valores de volumen y capacidad de los diferentes tramos de la red vial elaborados por FIEL (1995) y los valores de tiempo de viaje en flujo libre recopilados por la Secretaria de Transporte de la Nación[14]. En cuanto a los valores de los coeficientes α y β, lamentablemente no existen estimaciones para la Ciudad de Buenos Aires, por lo que se emplearon los valores típicos para el transporte urbano elaborados por el Departamento de Transporte del Reino Unido Department of Transport (1985) .

Con esta información se calcularon los tiempos de viaje del transporte privado utilizando, como se mencionó anteriormente, una red vial simplificada que incluye solamente autopistas y avenidas principales.

Se elaboraron tres variables dummy: La variable dummy-tren se construyó asignándole un valor 1 a los individuos cuyos viajes se originan en los distritos con acceso al modo tren y 0 en caso contrario. La dummy-subte se construyó asignándole un valor 1 a los individuos cuyos viajes se originan en los distritos con acceso al modo subte y 0 en caso contrario (no se confeccionó una variable similar a las anteriores para el autotransporte público de pasajeros ya que en la CBA prácticamente todos los individuos tienen acceso a la red de colectivos). Por último, se construyó la variable dummy-distancia asignándole un valor 1 a los individuos cuyos viajes se originan en los distritos más lejanos del "centro" y 0 en caso contrario.

5. Estimación del Modelo de Elección Modal

Como se señalo anteriormente, los modelos de elección discreta se basan en el principio de que la elección de un individuo ante distintas alternativas dependerá de cuál maximice las ganancias de utilidad.

En el caso de la demanda de transporte, las alternativas a las que se enfrenta un individuo se refieren al modo de transporte a utilizar. De esta manera, la elección del individuo dependerá de las utilidades que le reporten las distintas opciones, y su elección racional será viajar por aquel modo que maximice su utilidad.

El modelo intenta explicar la elección modal, entendiéndose por ello el tipo de transporte que elegirá el individuo de acuerdo a distintas variables que se consideran relevantes para su determinación. La especificación del modelo es la siguiente[15].

$$P_{iq} = F(\theta_{i1} + \theta_{i2}\, Ingreso_{ik} + \theta_{i3}\, Costoin_{ik} + \theta_{i4}\, Tiempo_{ik} + \theta_{i5}\, dummysub_{ik} + \theta_{i6}\, dummytre_{ik} + \theta_{i7}\, dummydis_{ik}) \qquad (15)$$

donde:

Ingreso: es el ingreso del individuo.

[14] CASETRAM (2000) "Proyecto Integral de Transporte Urbano de la Región Metropolitana de Buenos Aires".

[15] La literatura del transporte indica que existen otras variables relevantes para explicar el proceso de elección modal. Entre las principales se encuentran los tiempos de espera y diferencial si los individuos poseen o no acceso al automóvil, lamentablemente esa información no se encuentra disponible para la Ciudad de Buenos Aires.

Costoin: es el costo del modo correspondiente dividido por el ingreso del individuo (de ahora en adelante se denominará costo). La elección de dicha variable, por oposición al valor absoluto del costo, nos indica en términos relativos el gasto incurrido por el individuo en cada viaje realizado.

Tiempo: es el tiempo de viaje.

Dummysub: es la dummy-subte; *Dummytre*: es la dummy-tren. *Dummydis:* es la dummy-distancia.

P_{iq} es la probabilidad de que un individuo elija viajar por uno u otro modo de transporte.

θ_{ik}: son los coeficientes del modelo.

Tal como se explicara en el apartado 3.B del presente trabajo, en los modelos logit multinomial existe un problema de identificación de los parámetros de interés. Para solucionar esto se debe tomar una de las alternativas por las que puede optar el individuo (en nuestro caso modos de transporte) como referencia, y los resultados deben interpretarse como la reacción del individuo ante un cambio en la variable explicativa de interés del modo considerado con respecto al de referencia.

5.A. Modo de Referencia Ómnibus

Se eligió como modo de referencia al ómnibus[16] obteniéndose como resultados los indicados en el cuadro Nº IV. En la primera columna se pueden observar los parámetros θ_{ik} estimados, a continuación se reportan los errores estándar de la estimación de cada coeficiente, en la tercer columna se indican los valores de los estadísticos de significatividad individual de los coeficientes. Este es un (pseudo) estadístico "t", ya que sólo se conoce la distribución asintótica del estadístico, la cual está dada por la distribución normal estándar y no por la distribución t-student como en los modelos lineales bajo el supuesto de normalidad. Por último, se indican los límites del intervalo de confianza (con un 95% de confianza) entre los que se encuentra el verdadero valor del parámetro estimado.

[16] La elección del ómnibus como modo de referencia se debe a la mayor cobertura de este modo de transporte en relación a la del subterráneo y el tren, en todos los casos resulta a priori plausible la sustitución de estos últimos a favor del ómnibus.

Cuadro IV
Regresión Multinomial
Modo de Referencia Ómnibus

Modo	Coef.	Error Estándar	Z	(95% Intervalo de Confianza)	
AUTOMOVIL					
Ingreso	0,051752	3690,93	0,00	-7234,03	7234,14
Costoin	71610,79	----	----	----	----
Tiempo	-0,176529	149687,1	-0,00	-293381,5	293381,1
Dummysub	-0,798982	4091113	-0,00	-8018435	8018434
Dummytre	-0,485047	8261714	-0,00	-1,62e+07	1,62e+07
Dummydis	1,896999	3834778	0,00	-7516025	7516029
Cons	-174,5390	1,21e+07	-0,00	-2,38e+07	2,38e+07
SUBTERRANEO					
Ingreso	-0,001516	0,0001446	-10,4	-0,00180	-0,00123
Costoin	-3554,920	314,41360	-11,3	-4171,1	-2938,68
Tiempo	-0,145286	0,0064743	-22,4	-0,15797	-0,13259
Dummysub	2,091698	0,2219413	9,42	1,65670	2.52669
Dummytre	-1,342390	0,1966772	-6,83	-1,7278	-0,95691
Dummydis	-0,721080	0,1302469	-5,54	-0,97636	-0,46580
Cons	5,583645	0,4346953	12,8	4,73165	6,43563
FERROCARRIL					
Ingreso	0,000912	0.000185	4,92	0,00054	0,00127
Costoin	1723,802	1038.410	1,66	1060,52	2387,07
Tiempo	-0,009023	0.004279	-2,11	-0,01741	-0,00063
Dummysub	0,355717	0.210898	1,69	-0,05763	0,76907
Dummytre	0,211381	0.256772	0,82	-0,29188	0,71464
Dummydis	0,103480	0.178118	0,58	-0,24562	0,45258
Cons	-5,09798	0.548313	-9,30	-6,17265	-4,02330

Numero de Observaciones = 6421 LR chi2 (18) = 8378.86 Prob > chi2 = 0.0000
Pseudo R2 = 0.7181 Log likelihood = -1644.5463

El primer resultado que surge de la estimación es la poca significatividad estadística de las variables explicativas seleccionadas para entender la elección modal en el caso del automóvil particular con respecto al ómnibus, reflejando que la comparación entre ambos no es fácilmente deducible.

A pesar de ello, la no significatividad de las variables consideradas para explicar la probabilidad de sustituir el automóvil a favor de ómnibus, estaría reflejando que quienes utilizan dichos medios de transporte son por lo general reacios a utilizar servicios públicos masivos. El signo positivo de la variable *Costoin* en el caso del automóvil (aunque no resulta estadísticamente significativa) podría explicar tal argumento, en el sentido de que un aumento del costo de viaje en auto no generaría una disminución en la probabilidad de seguir utilizando dicho modo.

Por el contrario, sí resultan significativas las variables para explicar la sustitución entre los servicios públicos de transporte masivo. En particular, en el caso del transporte subterráneo, todas las variables resultaron significativas, y del signo de los coeficientes surge que ante un aumento del ingreso y del costo de viaje, disminuye la probabilidad de viajar en subte a favor del

uso del ómnibus. Algo similar ocurre con los tiempos de viaje, el signo negativo del coeficiente asociado al tiempo de viaje nos indica que si aumenta el tiempo de viaje en subterráneo, se reduce la probabilidad de viajar en dicho medio y aumenta la probabilidad de optar por el ómnibus.

Respecto a la dummy-subte, se observa que si un individuo origina su viaje en algún distrito con acceso a la red de subterráneo, entonces es mayor la probabilidad de viajar en dicho modo y no sustituirlo por el ómnibus. La interpretación de la dummy-tren no resulta relevante ni intuitiva para el análisis de la demanda de subterráneo, ya que estaría indicando que en aquellos distritos alcanzados por la red ferroviaria, disminuye la probabilidad de viajar en subterráneo a favor de los colectivos. En consecuencia, esta variable sólo será tenida en cuenta cuando se analice el modo tren y, de igual manera, la dummy-subte sólo se considerará para el análisis del modo subte. Por último, la dummy-distancia refleja el hecho de que cuanto más lejos se origine el viaje respecto al "centro", disminuye la probabilidad de viajar en subterráneo, aumentando la elección del ómnibus, lo que resulta razonable teniendo en cuenta que la red de subterráneos no cubre la totalidad del área estudiada, concentrándose en la zona céntrica.

En cuanto al modo tren, los coeficientes asociados al ingreso y el costo indican que ante un aumento en dichas variables, se incrementa la probabilidad de que el individuo no sustituya tal modo de transporte a favor del ómnibus. Aunque en el caso del costo no resulta estadísticamente significativo, de este resultado se puede inferir que la demanda de tren es relativamente inelástica al mismo, apareciendo como variable más relevante el tiempo de viaje para explicar la elección del tren como medio de transporte, que en este caso resulta ser una variable estadísticamente significativa y el coeficiente asociado a la misma indica que ante un incremento en los tiempos de viaje en ferrocarril cae la probabilidad de viajar en este medio y aumenta la probabilidad de utilizar el ómnibus.

La no significatividad de las variables dummy puede explicarse por el hecho de que en el presente estudio no se consideran los individuos que originan su viaje en el Gran Buenos Aires y estos son la gran mayoría de los usuarios del ferrocarril de superficie, en particular teniendo en cuenta que el modelo refleja la elección modal a partir de la movilidad en la hora pico de la mañana.

La bondad de ajuste del modelo puede ser analizada a partir del Pseudo R^2 y del test de significatividad conjunta de los coeficientes. El Pseudo-R^2 es una medida de bondad del ajuste cuya fórmula es la siguiente:

$$Pseudo - R^2 = 1 - \frac{\ln L}{\ln L_0}$$

Donde ln L es el logaritmo de la función de verosimilitud para el modelo original, es decir, incluyendo todas las variables explicativas para los cuatro modos analizados, y ln L_0 es el logaritmo de la función de verosimilitud para el modelo restringido estimado sólo con la constante. Dicho estimador arroja un valor de 0.7131, que resulta aceptable.

El test de significatividad conjunta de los coeficientes, contrasta la hipótesis nula $\theta_{ik}=0$, frente a la alternativa de que existe algún $\theta_{ik} \neq 0$. El resultado obtenido fue 8378.8 que para los niveles de significatividad utilizados, dada la distribución chi-cuadrado, permite rechazar la hipótesis nula de irrelevancia de los indicadores en forma conjunta.

5.B Estimación de las Razones de Probabilidad

A fin de evaluar medidas alternativas de política económica que afectan a las variables independientes del modelo, resulta de suma importancia la cuantificación de los cambios en las decisiones de los individuos. A tal efecto se estimaron las *razones de probabilidad*, las que nos estarían indicando el cambio *porcentual* en la probabilidad de elección entre los distintos modos respecto al modo de referencia (en este caso el ómnibus) ante cambios *marginales* en las variables explicativas, es decir que las razones de probabilidad se interpretan como semielasticidades de la probabilidad de elección ante modificaciones en las variables explicativas[17].

Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro V. En la primera columna se reportan los valores de las razones de probabilidad y en la segunda y tercera se indican respectivamente los valores de los errores estándar asociados a éstas y los estadísticos de significatividad individual.

Cuadro V
Regresión Multinomial - Razones de Probabilidad
Modo de Referencia Ómnibus

Modo	Coef.	Error Estándar	Z	(95% Intervalo de Confianza)	
AUTOMOVIL					
Ingreso	1,0531	3886,97	0,00	----	----
Costoin	----	----	----	----	----
Tiempo	0,8381	125463.8	-0,00	----	----
Dummysub	0,4497	1840127	-0,00	----	----
Dummytre	0,6156	5086472	-0,00	----	----
Dummydis	6,6658	2.56e+07	0,00	----	----
SUBTERRANEO					
Ingreso	-0,9984846	0,0001444	-10,4	0,998201	0,998767
Costoin	0	0	-11,3	0	0
Tiempo	0.8647745	0,0055988	-22,4	0,53870	0,875818
Dummysub	8.098652	1.797425	9,42	5,4198	12,5120
Dummytre	0.2612192	0.0513759	-6,83	0,177661	0,384075
Dummydis	0.4862232	0,0633291	-5,54	0,376677	0,627627
FERROCARRIL					
Ingreso	1,000913	0.0001855	4,92	1,00055	1,00127
Costoin	----	----	1,66	1060,52	2387,07
Tiempo	0,9910167	0,0042415	-2,11	0,982738	0,999364
Dummysub	1,427205	0,3009948	1,69	0,943994	2,15776
Dummytre	1,235383	0,3172121	0,82	0,746855	2,04346
Dummydis	1,109024	0,1975379	0,58	0,782215	1,57237

Numero de Observaciones = 6421 LR chi2 (18) = 8378.86 Prob > chi2 = 0.0000
Pseudo R2 = 0.7181 Log likelihood = -1644.5463

[17] La elección de las razones de probabilidad en detrimento de los efectos marginales discretos, se basa en que los cambios discretos indican el cambio para un conjunto particular de variables independientes, y a diferentes niveles de esas variables los cambios son diferentes. Por otro lado, efectos marginales tienen un problema de identificación debido a que ante cambios en las variables independientes no se puede identificar el cambio de probabilidad por modo. Scott Long, (1997).

En concordancia con los resultados obtenidos en la estimación multinomial, para el modo automóvil privado se observa una semi-elasticidad del costo como porcentaje del ingreso prácticamente nula y la semielasticidad de las demás variables no resulta significativa. Por lo tanto, cualquier mecanismo de incentivos que intente fomentar el uso del ómnibus en lugar del automóvil mediante alteraciones *marginales* en el ingreso, el costo o los tiempos de viaje no tendría éxito.

En el caso del subterráneo, un aumento marginal en el ingreso y en el tiempo de viaje incrementaría la probabilidad de que opten por el ómnibus en un 0.99% y 0.86%, respectivamente. Por otro lado, ante aumentos marginales de la tarifa no se producen variaciones en la probabilidad de viajar en uno u otro modo de transporte. Aquí es de destacar el valor que arroja la semielasticidad respecto a la variable dummysub, la cual nos indica que si el individuo posee acceso al subterráneo, la probabilidad de que opte por éste en lugar del ómnibus aumenta en más de un 8%.

En lo concerniente al tren, un aumento marginal en el ingreso aumenta en un 1% la probabilidad de continuar viajando en dicho modo respecto al ómnibus. Al igual que en el caso del subte, aumentos en la tarifa tienen efectos nulos en la probabilidad de optar por el ómnibus. En cuanto al tiempo de viaje, un aumento en el mismo incrementa la probabilidad de sustituir el uso del tren a favor del ómnibus en un 0.98%.

5.C Elasticidades Agregadas

Se procedió al cálculo de las elasticidades agregadas de la probabilidad de elección respecto a los diferentes atributos teniendo en cuenta que el modelo logit multinomial no es lineal. Por lo tanto, no es correcto evaluar las elasticidades individuales (dadas por la ecuación 10) para los promedios muestrales de las probabilidades y los atributos ya que se incurriría en sesgos de agregación. En consecuencia, para solucionar este problema se estimaron las elasticidades para cada uno de los individuos y luego se agregaron ponderando cada elasticidad por la probabilidad de elección estimada para cada individuo. Aplicando este método se obtiene que la elasticidad de la probabilidad agregada de elegir cada uno de los modos respecto a los diferentes atributos es la indicada en el cuadro VI.

Cuadro VI
Elasticidades Agregadas

Elasticidad	Automóvil	Ómnibus	Subterráneo	Ferrocarril de Superficie
Ingreso	0.000	-0.2103	-0.7117	0.9151
Costo/Ingreso	0.000	-0.2251	-0.8402	0.7812
Tiempo de Viaje	0.000	-0.2091	-1.0432	-0.2221

Se destaca al igual que en todos los casos anteriores la baja elasticidad (prácticamente nula) de la probabilidad de elección del automóvil respecto a todas las alternativas estudiadas.

Respecto al ómnibus este resulta ser un bien inferior dado que la elasticidad es menor a cero, y su demanda es inelástica ya que ante un aumento del 1% en la participación del costo en el

ingreso la probabilidad de optar por ese medio se reduce solamente en un 0.21%. Por último, la elasticidad respecto al tiempo de viaje es –0.2.

El ferrocarril subterráneo, al igual que el ómnibus, es un bien inferior. Este sería el resultado a esperar si consideráramos sólo a los individuos con acceso al automóvil, lamentablemente esta información no se encuentra disponible. La elasticidad respecto al costo y el tiempo de viaje son ambas negativas y en valores absolutos sustancialmente mayores que las del ómnibus.

El ferrocarril de superficie, a diferencia de los casos anteriores, arroja valores de las elasticidades ingreso y costo positivas, resultados para nada intuitivos. Esto puede ser atribuible a que no se consideran los individuos que originan su viaje en el Gran Buenos Aires siendo éstos la mayoría de los usuarios del ferrocarril de superficie en la hora pico de la mañana. La elasticidad respecto al tiempo de viaje es negativa e indica que ante un aumento del tiempo de viaje en ferrocarril la probabilidad de optar por dicho medio se reduce en un 0.22%.

5.D Una Aplicación Práctica: Mejoras en el Transporte Subterráneo

Dado que los coeficientes del modelo son los argumentos de la parte no aleatoria de la función de utilidad dada por la ecuación (1) se puede obtener la tasa marginal de sustitución (TMS) entre tiempo de viaje y tarifa para el caso del subte respecto al ómnibus realizando el cociente entre θ_4 y θ_3 multiplicado por el ingreso del individuo. Como se señaló anteriormente, se utilizaron nueve categorías de ingreso, por lo que se obtuvieron otras tantas TMS según los niveles de ingreso y distrito. Los resultados se señalan en el cuadro VII e indican el dinero[18] que estarían dispuestos a pagar los individuos por un minuto menos de viaje en subterráneo sin que se modifique la probabilidad de sustituir dicho modo por el ómnibus.

Cuadro VII

Categoría de Distrito	Ingreso Alto	Ingreso Medio	Ingreso Bajo
A	0,0975	0,0441	0,0381
B	0,0881	0,0412	0,0312
C	0,0831	0,0414	0,0125

La categoría A agrupa a los distritos de altos ingresos, B a los de ingresos medio y C a los de menor ingreso. Por otro lado, las columnas incorporan el porcentaje de habitantes de un determinado distrito que perciben ingresos altos, medios y bajos.

Del cuadro se deduce que los individuos que viven en los distritos incluidos en A y que perciben altos ingresos, por minuto de disminución en el tiempo de viaje estarían dispuestos a pagar 9.7 centavos de manera tal de mantener constante la probabilidad de sustitución entre ambos modos de transporte. En caso de que ante una reducción de un minuto en el tiempo de viaje en subte el aumento de la tarifa fuese menor a 9.7 centavos, aumentaría la probabilidad de que el individuo elija subte a ómnibus.

A medida que consideramos individuos con menores ingresos, los mismos estarían dispuestos a pagar cantidades progresivamente menores a efectos de disminuir el tiempo de viaje. Resulta interesante, a partir de estos datos, estimar la cantidad total de dinero diaria que,

[18] Cabe aclarar que la estimación realizada es sobre la base de información correspondiente al año 2000, en que en la Republica Argentina se encontraba vigente el regimen de Convertibilidad Cambiaria con un tipo de cambio fijo entre pesos argentinos y dolares de 1. Por lo tanto los resultados se pueden interpretar indistintamente como en dolares estadounidenses o moneda local.

en conjunto, estarían dispuestos a pagar los individuos que viajan en subte a fin de disminuir el tiempo de viaje en un minuto. A tal efecto se construyó el cuadro VIII.

Cuadro VIII

Categoría de Distrito	Ingreso Alto	Ingreso Medio	Ingreso Bajo	Total
A	12446.8	6915.5	2579.1	21941.4
B	3598.5	4291.3	2296.4	10186.2
C	2088.5	4173.2	2564.0	8825.7
Total	18133.8	15380.0	7439.5	40953.3

Esta matriz surge de multiplicar el total de viajes diarios en subte por distrito y nivel de ingreso con la cantidad de dinero que estaría dispuesto a pagar *cada* individuo. De la agregación de todos los individuos se obtuvo la suma diaria de $40.953 que representa la cantidad total de dinero que los individuos resignarían por día con el objeto de reducir en un minuto el tiempo de viaje manteniendo constante la probabilidad de sustituir subte por ómnibus.

Si tomamos 24 días al mes (dado que los fines de semana y feriados el tránsito es menor) y 12 meses al año, el dinero adicional que el total de pasajeros transportados en subte estaría dispuestos a pagar en un año por un minuto menos de viaje al día, es de $11.794.540. Esto indica que los individuos estarían dispuestos a financiar (al menos en teoría), vía un incremento en la tarifa, una inversión de 11.8 millones de pesos anuales con el fin de disminuir el tiempo de viaje en un minuto.

6 Conclusiones

El sistema de transporte en la CBA ha experimentado un proceso de deterioro con una fuerte reducción en los viajes en medios públicos y un aumento en la participación del automóvil privado generando deseconomías externas asociadas a la congestión, la contaminación ambiental y el aumento en el número de accidentes.

En función de esto, se ha elaborado un modelo de elección discreta que intenta reflejar los aspectos determinantes de la elección del modo de transporte por parte de los consumidores del servicio. Adicionalmente de estimó dicho modelo para el caso de la Ciudad de Buenos Aires.

En principio, la especificación del modelo y de las variables explicativas pareciera ser la correcta dado que los tests de bondad de ajuste efectuados arrojaron resultados favorables. De todas maneras, una primera conclusión que puede obtenerse es la poca significación estadística de las diferentes variables adoptadas para explicar la elección modal en el caso de los usuarios del automóvil y la elasticidad prácticamente nula de la probabilidad de escoger este medio respecto a las distintas variables explicativas utilizadas, lo que nos estaría indicando que, para los rangos de valores incluidos en la muestra, es muy difícil cambiar la elección de los usuarios del automóvil.

En el caso del modo ferrocarril subterráneo, el signo negativo del coeficiente de la tarifa indica que ante un aumento de la misma disminuye la probabilidad de viajar en subte a favor del ómnibus. Por el contrario, en el modo tren se observa el comportamiento opuesto, dado que no se consideran en el presente trabajo los individuos que originan su viaje en el GBA, quienes representan una importante proporción de los usuarios de tren.

La estimación de las elasticidades y semielasticidades de la probabilidad de elección de los diferentes modos de transporte respecto al ingreso de los usuarios, el tiempo de viaje y los

costos, nos permiten cuantificar el impacto en la demanda de diferentes medidas de política económica tendientes a modificar la elección modal de los usuarios. Puede observarse que tanto el Ómnibus como el Subterráneo resultaron ser servicios inferiores (dado que la elasticidad ingreso resulto ser negativa) y se destaca la alta elasticidad de la probabilidad de elección del subterráneo respecto al tiempo de viaje.

Sin embargo, dada la falta de información desagregada y actualizada, debe tenerse en cuenta que los resultados a los que se han arribado son de carácter indicativo, de ninguna manera concluyentes. Tal vez, el mayor aporte del trabajo sea ejemplificar la posibilidad de desarrollar una metodología que permita tomar decisiones en el área del transporte urbano con un mayor sustento teórico y empírico poniendo de manifiesto la necesidad de ampliar, actualizar y sistematizar la información referida al mismo.

Apéndice I

Deducción de las Elasticidades Individuales

Dado que la probabilidad de elección de la alternativa *i* por el individuo *q* viene dada por:

$$P_{iq} = \frac{e^{\bar{U}_{iq}}}{\sum_j e^{\bar{U}_{jq}}} = \frac{e^{\sum_{k=1}^{K} \theta_{ik} X_{ikq}}}{\sum_j e^{\sum_{k=1}^{K} \theta_{jk} X_{jqk}}} \quad (1)$$

Y la elasticidad de la probabilidad de elección de la alternativa *i* respecto al atributo X_{ikq} es:

$$E_{X_{ikq}}^{P_{iq}} = \frac{\partial P_{iq}}{\partial X_{ikq}} \frac{X_{ikq}}{P_{iq}} \quad (2)$$

Entonces, realizando la deriva analítica de la expresión (1) respecto al atributo X_{ikq} se obtiene que:

$$\frac{\partial P_{iq}}{\partial X_{ikq}} = \frac{P_{iq} \sum_k \theta_{ik} \left[(\sum_j e^{\bar{U}_{jq}}) - e^{\sum_{k=1}^{K} \theta_{ik} X_{ikq}} \right]}{\sum_j e^{\sum_{k=1}^{K} \theta_{jk} X_{jqk}}} = P_{iq} \sum_k \theta_{ik} \left[1 - \frac{e^{\sum_{k=1}^{K} \theta_{ik} X_{ikq}}}{\sum_j e^{\sum_{k=1}^{K} \theta_{jk} X_{jqk}}} \right] \quad (3)$$

Reemplazando en (3) en (2)obtenemos que:

$$E_{X_{ikq}}^{P_{iq}} = P_{iq} \sum_k \theta_{ik} \left[1 - P_{iq} \right] \frac{X_{ikq}}{P_{iq}} \quad (4)$$

Para una característica k dada:

$$E_{X_{ikq}}^{P_{iq}} = \theta_{ik} X_{ikq} \left[1 - P_{iq} \right] \quad (5)$$

Procediendo de la misma forma la elasticidad cruzada resulta ser:

$$E_{X_{jkq}}^{P_{iq}} = -\theta_{jk} X_{jkq} P_{jq} \quad (6)$$

Bibliografía:

Ben-Akiva, M. y Lerman, S. (1985): *Discrete Choice Analisis: Theory and Application to Travel Demand*, MIT Press. Cambridge, Massachusetts.

Bunch, D.A. (1991) "Estimability in the Multinomial Probit Model", TRANSPORTATION RESEARCH, B 25, 1-12.

BUTTON, K.J. (1993). *Transport economics* (2ª ed) Aldershot: Elwar Legan.

Department of Transport (1985): *Traffic Appraisal Manual.* HMSO. London.

FIEL (1995): "Financiamiento del Sector Transporte en la Región Metropolitana de Buenos Aires. Buenos Aires". Documento de Trabajo Nº 49. Fundación de Investigaciones Economicas Latinoamericanas.

Garcia, Pablo M (2002) "Measuring Willingness-To-Pay in Discrete Choice Models with Non-Parametric Techniques", *presented at the XXXVIII Annual Meeting of the Argentina Association of Economic Policy, November 2003*.

McFadden, Daniel (1974): "The Measurement of Urban Travel Demand*"*. JOURNAL OF PUBLIC ECONOMICS, Vol. 3, No. 4, 303-328, 1974.

McFadden, Daniel (1998): "Measuring Willingness-to-Pay for Transportation Improvements" in T. Gärling, T. Laitila, and K. Westin (eds.) THEORETICAL FOUNDATIONS OF TRAVEL CHOICE MODELING, 339-364, Elsevier Science: Amsterdam, 1998.

Mc Fadden, Daniel (2001). "Economic Choices," Nobel Lecture, December 2000. AMERICAN ECONOMIC REVIEW, Vol. 91, No. 3, 351-378, June 2001 and in Les Prix Nobel, 2001.

Manski, C. F. y Lerman, S. R. (1978): *On the Use of Simulated frequencies to Approximate Choice Probabilities.* Cambridge Systematic Inc.

Matzkin, R. (1991): "Semiparametric Estimation of Monotone and ConcaveUtility Functions for Polychotomous Choice Models". ECONOMETRICA, Vol 59, 239-270.

Matzkin, R. (1992): "Nonparametric and Distribution-Free Estimation of the Binary Threshold Crossing and the Binary Choice Models". ECONOMETRICA, Vol 60, No. 2.

Ortúzar J. D. (2000): *Modelos Econométricos de Elección Discreta*. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Ortúzar J. D. Williams (1982): "Una Interpretación Geométrica de los Modelos de Elección Entre Alternativas Discretas Basados en la Teoría de la Utilidad Aleatoria". *Apuntes de Ingeniería*. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Ortúzar J. D. Willumsen L. G. (1994) *Modelling Transport.* Second Edition. John Wiley & Sons, UK.

Pigou, A. (1920): *The Economics of Welfare.* Mcmillan and Co. Londres.

Scott Long, (1997): "Regression Models for Categorical and Limited Dependent Variables". *A volume in the Sage Series for Advanced Quantitative Techniques*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

Small, K. (1992) *"Urban Transportation Economics*," Vol. 51 of FUNDAMENTALS OF PURE AND APPLIED ECONOMICS SERIES.

Villadeamigo, José (1998): *Algunas Consideraciones Acerca de la Política de Transporte en la Argentina*. FAI. 1998.

Willumsen, L (1994): "Uso de Preferencias Declaradas para Estimar el Valor de la Calidad de Servicio" *VII Congreso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano,* Buenos Aires.