



ARTÍCULOS

Diseño de un experimento de preferencias declaradas para la elección de modo de transporte urbano de pasajeros

Juan José Pompilio Sartori

Revista de Economía y Estadística, Cuarta Época, Vol. 44, No. 2 (2006), pp. 81-123.

<http://revistas.unc.edu.ar/index.php/REyE/article/view/3832>



La Revista de Economía y Estadística, se edita desde el año 1939. Es una publicación semestral del Instituto de Economía y Finanzas (IEF), Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Córdoba, Av. Valparaíso s/n, Ciudad Universitaria. X5000HRV, Córdoba, Argentina.

Teléfono: 00 - 54 - 351 - 4437300 interno 253.

Contacto: rev_eco_estad@eco.unc.edu.ar

Dirección web <http://revistas.unc.edu.ar/index.php/REyE/index>

Cómo citar este documento:

Sartori, J. (2006). Diseño de un experimento de preferencias declaradas para la elección de modo de transporte urbano de pasajeros. *Revista de Economía y Estadística*, Cuarta Época, Vol. 44, No. 2, pp. 81-123.

Disponible en: <http://revistas.unc.edu.ar/index.php/REyE/article/view/3832>

El Portal de Revistas de la Universidad Nacional de Córdoba es un espacio destinado a la difusión de las investigaciones realizadas por los miembros de la Universidad y a los contenidos académicos y culturales desarrollados en las revistas electrónicas de la Universidad Nacional de Córdoba. Considerando que la Ciencia es un recurso público, es que la Universidad ofrece a toda la comunidad, el acceso libre de su producción científica, académica y cultural.

<http://revistas.unc.edu.ar/index.php/index>



Revista de Economía y Estadística - Vol. XLIV - (2) - Año 2006
Instituto de Economía y Finanzas - Facultad de Ciencias Económicas,
Universidad Nacional de Córdoba - Argentina

Diseño de un experimento de preferencias declaradas para la elección de modo de transporte urbano de pasajeros

JUAN JOSÉ POMPILIO SARTORI*

Departamento de Economía y Finanzas
Universidad Nacional de Córdoba
jsartori@eco.unc.edu.ar

Resumen

El estudio desarrolla el diseño de un experimento de elección de preferencias declaradas con el que se confeccionan los formularios de encuesta para realizar la estimación de demanda de viajes en el transporte urbano con un modelo logit binario. El modelo se estima a partir de una encuesta piloto, se calculan el valor de los ahorros de tiempo de viaje y espera de los usuarios de taxi/remis y ómnibus en la Ciudad de Córdoba; las elasticidades de demanda de cada uno los modos y se realizan pronósticos de la cuota de mercado en un análisis de escenarios de política.

Palabras clave: Preferencias declaradas, diseño experimental, modelos de elección discreta, estimación y pronósticos de demanda de transporte urbano, valor de los ahorros de tiempo.

Clasificación JEL: C25, C53, C9, L92, R22

Abstract:

This paper develops a stated choice experiment design which is used to build up the survey forms for the estimation of a binary logit model for

* Profesor del Departamento de Economía y Finanzas (FCE – UNC). Se agradecen los valiosos comentarios realizados por un referee anónimo, que ayudaron a mejorar la primera versión del trabajo; cualquier error en este estudio es entera responsabilidad del autor.

urban travel demand. The model is estimated with a pilot survey, from which are calculated the values of travel time savings and the value of waiting time for taxi/remis and bus users in the city of Córdoba. The demand elasticities for each mode of transport are also estimated and the market shares for each mode are forecasted in a scenario analysis of different policies.

Key words: Stated preferences, experimental design, discrete choice models, urban travel demand estimation and forecasting, value of travel time savings.

JEL Classification: C25, C53, C9, L92, R22

I. INTRODUCCIÓN

El estudio presenta el diseño de un experimento de preferencias declaradas en el contexto de los modelos de elección discreta. A partir del diseño experimental se presentan formularios de encuesta que permite realizar la estimación de un modelo logit binario. Con el modelo estimado se calculan los valores de los ahorros de tiempo de viaje y espera de los usuarios de taxi/remis y ómnibus en la Ciudad de Córdoba. Cabe señalar, que no existe información secundaria disponible con relación a este tipo de datos de valoración del consumidor en nuestro país. Solo existen experiencias de otros países, resultando de vital importancia la estimación de estos valores para la evaluación económico-social (o análisis costo-beneficio) de proyectos o políticas de transporte urbano.

Los modelos de elección discreta pueden estimarse a partir de datos de preferencias reveladas o de preferencias declaradas.¹ En las primeras se recopila información real de los viajes de los individuos en un momento determinado del tiempo, como la información recopilada en la encuesta de origen – destino realizada en los años 1994 y 2000 en la Ciudad de Córdoba. Sin embargo, estas encuestas no incorporaron preguntas específicas para obtener la valoración del tiempo de espera de los usuarios del transporte urbano de la ciudad. La valoración de los tiempos de viaje puede obtenerse indirectamente a partir de la estimación de los tiempos de

¹ Con encuestas de origen-destino por ejemplo, puede estimarse modelos de elección discreta de preferencias reveladas, mientras que las encuestas basadas en el diseño de experimentos permiten estimar modelos de elección discreta de preferencias declaradas.

viaje entre origen y destino, sin embargo, estos métodos a menudo proporcionan un sesgo importante de agregación de los datos. Para salvar estas dificultades, se propone la elaboración de una encuesta de preferencias declaradas utilizando el diseño de experimentos. Estas encuestas arrojan mejores resultados para evaluar las características objeto de este estudio, son más económicas debido a que el número de encuestas es sustancialmente menor al de otras (ej. encuestas origen-destino de viajes) y permiten diseñar un conjunto eficiente de situaciones de intercambio para evaluar las preferencias de los usuarios, considerando tanto los modos de transporte existentes como modos potenciales.

Con el análisis realizado, en el futuro se podrá realizar la encuesta en el mercado real y obtener los parámetros de interés a partir de la estimación de modelos econométricos de elección discreta del tipo Logit o Probit, por ejemplo.

En la segunda sección se presentan los fundamentos económicos que apoyan la necesidad del presente estudio. En la tercera parte se caracterizan los estudios de preferencias declaradas de manera de presentar el marco general que los contiene. En la cuarta sección se realiza la fundamentación teórica y la especificación del modelo de elección discreta. En la quinta sección se expone el diseño del experimento de preferencias declaradas específico desarrollado para la elección de modo de transporte entre el taxi/remis y el ómnibus en la Ciudad de Córdoba. Se presenta la elección de atributos y niveles utilizados para estimar un modelo logit binario. Además, se desarrollan dos formularios de encuesta, uno con 9 escenarios de elección y otro con 18 escenarios de elección.

En la última sección del trabajo se presentan los resultados de una prueba de campo realizada con estudiantes de la facultad. Si bien no se trata de una muestra representativa de la población objetivo de estudio, ha permitido obtener conclusiones que permiten mejorar el diseño y la presentación de las situaciones de elección. Asimismo, se presenta la estimación de un modelo logit, la estimación de los valores de tiempo de viaje y espera que fueran el primer objetivo de este estudio y la estimación de elasticidades de demanda. Finalmente se muestra el uso del modelo estimado en el análisis de política económica pronosticando la cuota de mercado de cada modo de transporte considerado ante variaciones de las condiciones que los caracterizan.

II. FUNDAMENTOS ECONÓMICOS SOBRE LA NECESIDAD DEL ESTUDIO

La necesidad de este tipo de estudio se funda en la importancia de la estimación de:

la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje y espera de los usuarios de los sistemas de transporte urbano por taxi/remis y ómnibus,

las elasticidades de demanda, entre ellas: elasticidad precio de la demanda de los distintos modos de transporte, elasticidad tiempo de viaje, elasticidad tiempo de espera,

las cuotas de mercado o proporción de la demanda de los distintos modos de transporte considerados ante escenarios de política que modifican las variables explicativas de la demanda (tiempos de viaje, tiempos de espera y tarifas),

el cambio en el excedente del consumidor ante distintos escenarios de política.

Estas estimaciones permiten realizar una correcta evaluación de proyectos de inversión en el sector transporte y el análisis costo-beneficio de políticas de transporte urbano, en el cual los ahorros de tiempo de viaje y espera se consideran como los beneficios económicos del proyecto y que por medio de la valoración de esos ahorros de tiempo pueden valuarse en términos monetarios.

Además, utilizando estas estimaciones puede realizarse el análisis de las distintas políticas que podrían aplicarse para mejorar la calidad de vida de los habitantes de una ciudad, considerando tanto las variables económicas propiamente dichas (tarifas) como las de operación (calidad de los servicios), relacionadas con el número de vehículos existente (oferta), frecuencias, etc. Los resultados podrán utilizarse para mostrar los cambios que se producen en el excedente de los consumidores o en las cuotas de mercado de los distintos modos de transporte. Así, si se quisiera alentar el uso del transporte público de pasajeros, podría estimarse cuál sería el aumento o disminución de su cuota de mercado y luego pronosticar el total de demanda esperada en pasajes vendidos ante cambios en las variables explicativas de la demanda (tarifas, tiempos de viaje, calidad de los servicios, etc).

Adicionalmente, pueden realizarse análisis de tarifación óptima de los servicios de transporte urbano de pasajeros subsidiados. Es sabido que, utilizando un modelo de maximización del bienestar social para la deter-

minación de las tarifas del transporte urbano por colectivo, considerando la existencia de economías de densidad en la operación del servicio se justifica económicamente el otorgamiento de subsidios públicos al sistema de transporte. Además, puede calcularse el monto óptimo de las tarifas y los subsidios que consideren los costos generalizados de viaje de los usuarios y en particular, las externalidades positivas que se generan con el aumento de la oferta de los servicios para abastecer una demanda creciente.

Las aplicaciones propuestas evidencian la importancia de la estimación de las elasticidades de demanda de viajes por los distintos modos de transporte urbano de la ciudad de Córdoba y de la valoración que asignan los usuarios a los distintos componentes del costo generalizado de viaje (determinante de la demanda) a los efectos de realizar la evaluación de la conveniencia de aplicación de determinadas políticas desde el punto de vista social.

En los últimos años el sistema de transporte de la ciudad de Córdoba ha experimentado un importante aumento de los viajes en bicicleta y a pie y en especial por taxis y remis. Una política para el transporte urbano de la ciudad debe considerar los distintos efectos cruzados entre los atributos que caracterizan a los distintos medios de transporte, situación muy difícil de conseguir por medio de la observación directa de las elecciones de los individuos. Por ejemplo, el cálculo de las elasticidades precio de la demanda de un servicio de transporte urbano como el ómnibus o el taxi o remis y la elasticidad cruzada de la demanda entre los servicios de transporte por colectivo y los servicios de taxis y remis resulta muy importante para estimar el número de usuarios y los beneficios sociales tras aplicar políticas tarifarias específicas para ambos sectores. Este cálculo podría realizarse en el contexto del diseño de experimentos planteado.

El diseño de una encuesta basada en el diseño de experimentos y el análisis conjunto (también denominado “análisis de preferencias declaradas” en la literatura de la Economía del Transporte) contribuirá significativamente a la futura aplicación de un modelo de equilibrio general de los servicios de transporte de la ciudad.

III. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS DE PREFERENCIAS DECLARADAS

Se denominan técnicas de preferencias declaradas a un conjunto de metodologías que se basan en juicios (datos) declarados por individuos

acerca de cómo actuarían frente a diferentes situaciones hipotéticas que le son presentadas y que deben ser lo más aproximadas a la realidad (Ortúzar, 2000). Estas técnicas utilizan diseños experimentales para construir las alternativas hipotéticas presentadas a los encuestados. A partir de allí se obtienen los datos que permiten estimar las funciones de utilidad con respecto a las alternativas presentes en el experimento.

Las alternativas de elección presentadas a los encuestados son descripciones de situaciones o contextos construidos por el investigador que se diferencian a través del valor que toman sus atributos.

Como afirma Ortúzar (2000), existen distintas técnicas de preferencias declaradas que se denominan con diferentes nombres. Los más conocidos son: análisis conjunto, medición funcional y análisis de compromisos. Con respecto a estos métodos, puede afirmarse que no se ha unificado la forma de referirse a ellos, ni se ha delimitado el alcance de cada uno (Louviere, 1988 y Kroes y Sheldon, 1988), pero los tres utilizan técnicas de diseño experimental para generar las opciones a ser evaluadas por el encuestado.

Por otra parte, las técnicas de preferencias reveladas permiten obtener estimaciones de demanda a partir de las elecciones realizadas por los individuos en el mercado real, así es que las principales fuentes de datos utilizados en estas técnicas son las encuestas de origen y destino de viajes.

Las técnicas de preferencias declaradas permiten superar una serie de problemas incluidos en las técnicas de preferencias reveladas, a saber:

El rango de variación de los atributos (variables explicativas) puede ser extendido al nivel requerido o deseable permitiendo además incorporar factores e incluso opciones, que no estén presentes en el año base de estudio:

- Los efectos de variables de especial interés pueden ser aislados totalmente;
- Pueden incorporarse variables secundarias cuya unidad de medición sea cualitativa;
- Por construcción, no existe error de medición en los datos (variables independientes que revelan la decisión hipotética del consumidor);
- Los métodos de preferencias declaradas son menos costosos y requieren menos tiempo de recolección y análisis de datos que las técnicas de preferencias reveladas. Estas últimas necesitan informa-

ción adicional a las encuestas (usualmente de origen-destino), como por ejemplo la medición de tiempos y costos de viaje de cada individuo a través de modelos de redes;

Sin embargo, los métodos de preferencias declaradas incluyen determinados sesgos que habrá que considerar y tratar de minimizar. Estos sesgos son:

- *Sesgos o errores aleatorios*, plasmados en las diferencias entre lo que los individuos declaran que harían en una situación hipotética planteada y lo que realmente harán si ésta se presenta. Este tipo de error puede presentarse debido a una mala interpretación de la encuesta, la existencia de incertidumbre o la fatiga del entrevistado);
- Existen *errores no aleatorios* debidos a experiencias anteriores, percepciones cotidianas de los encuestados;
- *Interacción* entre el encuestador y los encuestados;
- *Sesgo de afirmación*, por el cual el encuestado puede expresar las preferencias que él cree que el encuestador desea recibir;
- *Sesgo de racionalización*, por el cual el encuestado puede proporcionar respuestas artificiales en un intento de racionalizar su comportamiento habitual, asociado a un fenómeno subconsciente denominado disonancia cognitiva (de Bradley y Kroes, 1990 citado por Ortúzar, 2000);
- *Sesgo de política*, por el cual el encuestado puede responder deliberadamente en forma sesgada con el fin de influir en las decisiones o políticas que él cree que se seguirán sobre la base de los resultados de la encuesta;
- *Sesgo de no restricción*, por el cual el encuestado puede responder en forma irreal si no considera las restricciones prácticas de su comportamiento;
- *Sesgo de no respuesta*, común a cualquier tipo de encuesta.

Todos estos sesgos implican la posible existencia de errores de medición de la variable dependiente (la elección). Los experimentos de preferencias reveladas, sin embargo, poseen la posibilidad de error de medición en las variables independientes, ya que lo que se observa de la realidad es la elección y la valuación de las variables independientes se realiza por medio de la medición indirecta.

La experiencia internacional en el desarrollo de experimentos de elección de modo de transporte ha evolucionado desde la década de 1980, comenzando por el diseño de encuestas que permitieran estimar modelos LMN con dos o más alternativas de elección y en general, pocos escenarios de elección de modo de evitar el efecto fatiga. En los primeros desarrollos se diseñaron experimentos ortogonales que implican la no existencia de correlación entre ellos, característica que era juzgada como necesaria para asegurar la bondad del diseño de la encuesta y que implica la no existencia de multicolinealidad en el modelo de demanda estimado a partir de los datos relevados. En la administración del cuestionario se utilizaban inicialmente tarjetas en las que se presentaban de manera independiente cada escenario de elección al entrevistado. La aplicación de estos experimentos de preferencias declaradas se realizó inicialmente en ciudades europeas (principalmente el Reino Unido), de Estados Unidos y de Australia². Actualmente, se ha generalizado el uso de este tipo de diseños en los países desarrollados.

En Argentina no se han publicado estudios sobre este tipo de diseños y estimaciones hasta el momento en el contexto del transporte de pasajeros. En Chile, sin embargo, se han desarrollado numerosos estudios de este tipo, que han permitido obtener valoraciones de ahorros de tiempo y han colaborado en el diseño de planes de transporte urbano y regional³.

Actualmente pueden administrarse encuestas de preferencias declaradas a través de Internet o en entrevistas personales asistidas con computadora portátil, en las cuales quienes participan realizan la elección de cada escenario presentado de manera independiente en la pantalla de la computadora. Asimismo, se está tendiendo a diseñar experimentos de un número amplio de escenarios de elección resultado de la especificación de una demanda con numerosas variables independientes, por ejemplo, con 46 atributos o variables entre las cuales algunas son genéricas y otras específicas de cada modo de transporte, con 4 niveles cada una y considerando como alternativas de elección todos los modos de transporte público existentes y los proyectados (nuevos trenes urbanos, por ejemplo) junto con los modos de transporte privado. Incluso se diseñan y administran en bloque,

² Algunos artículos que muestran la importancia otorgada al desarrollo del diseño de experimentos de preferencias declaradas con diseños ortogonales y algunas aplicaciones son Hensher (1994); la edición especial del *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 22, No. 1 de enero de 1988 y la edición especial de la revista *Transportation*, vol. 21, (1994).

³ Ortúzar, Juan de D. (1994).

presentando una partición del mismo a cada entrevistado; así por ejemplo, un diseño con 60 escenarios como el utilizado por Rose y Hensher (2004) se administra a 6 encuestados que deben elegir en 10 escenarios cada uno. Luego se agrupan convenientemente las respuestas para realizar la estimación utilizando modelos LMN o logit mixto⁴. Con respecto al tipo de diseño del experimento, se están realizando esfuerzos en el desarrollo de los experimentos denominados D-óptimos⁵ que se juzgan como eficientes para realizar las estimaciones, mientras que los diseños factoriales ortogonales utilizados inicialmente no son los más eficientes pero poseen la interesante propiedad de no correlación entre las variables independientes. Otro avance en el diseño de experimentos de preferencias declaradas está relacionado con la incorporación explícita de la no-disponibilidad de algunas alternativas de transporte para algunos individuos entrevistados, que se soluciona a través de la recopilación adecuada de la matriz de datos de las variables independientes.

IV. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y ESPECIFICACIÓN DEL MODELO DE ELECCIÓN

El modelo teórico postulado para realizar las estimaciones y los pronósticos se basa en la teoría de la utilidad aleatoria y argumenta que, el individuo elige la alternativa que maximiza su utilidad una vez que se confronta con el ejercicio de elección, dados los atributos de los modos considerados y sus características socio-económicas.⁶ La utilidad aleatoria puede expresarse como:

$$W_{jq} = V_{jq} + \eta_{jq} = U_{jq} + \tau_{jq}$$

⁴ El modelo logit mixto es un modelo flexible que permite aproximar cualquier modelo de utilidad aleatoria, permitiendo la existencia de variación de gustos aleatoria, patrones de sustitución no restringidos y correlaciones entre los factores inobservables a través del tiempo. Para una revisión de este modelo se aconseja ver Train (2003).

⁵ Este tipo de diseño D-óptimo, produce el diseño con el menor error de estimación posible con respecto a los parámetros y optimizando la cantidad de información obtenida a partir del diseño. Por otra parte, no mantienen la ortogonalidad de las variables independientes. En consecuencia, el tipo de diseño generado (factorial ortogonal versus D-óptimo) reflejará a qué característica le otorga más importancia el analista, a la ortogonalidad o a la eficiencia. Para profundizar en estos aspectos de diseño de experimentos, se aconseja revisar los artículos de Kuhfeld, et. al (1994) y Rose y Bliemer (2004).

⁶ En el caso de aplicación considerado más adelante no se consideran características socio-económicas de los individuos y la utilidad es sólo una función de los atributos de las alternativas (autobús y taxi/remis).

donde: V_{jq} es la parte mensurable determinística, sistemática o representativa de la utilidad aleatoria W_{jq} ; η_{jq} es un error aleatorio que refleja la idiosincrasia y los gustos individuales de los individuos en cada situación de elección. U_{jq} es una pseudo-utilidad obtenida de un modelo de preferencias declaradas y τ_{jq} representa el error de medición en la variable dependiente asociado a un experimento de preferencias declaradas resultado por ejemplo del efecto fatiga en las respuestas. El subíndice j se refiere a la alternativa (modo de transporte) considerada y q se refiere al individuo q -ésimo en la muestra.

Asumiendo τ_{jq} homocedásticas, la ecuación puede re-escribirse como:

$$U_{jq} = V_{jq} + (\eta_{jq} - \tau_{jq}) = V_{jq} + \varepsilon_{jq}$$

Y puede emplearse la metodología de estimación habitual utilizada en preferencias reveladas⁷. Para realizar predicciones o pronósticos resulta crucial una comprensión acabada de la magnitud τ_{jq} y de la forma de estimar los η_{jq} y τ_{jq} en forma separada usando datos mixtos de PD y PR para estimar el modelo. Diseños experimentales cuidadosos pueden hacer que τ_{jq} sea insignificante en relación a ε_{jq} y el modelo estimado podrá usarse entonces para realizar pronósticos.

Como Ortúzar y Willumsen (1994) afirman con respecto a la descomposición de la utilidad y a la utilidad determinística: “para que la descomposición sea correcta necesitamos una cierta homogeneidad en la población bajo estudio. En principio requeriremos que todos los individuos compartan (enfrenten o tengan disponible) el mismo conjunto de alternativas y las mismas restricciones, y para llegar a esto quizás sea necesario segmentar el mercado”.

Por lo tanto, el individuo q elegiría la alternativa j en el caso en que perciba que le otorgará una mayor utilidad que la alternativa i . Entonces, la parte sistemática (o determinística) de la utilidad individual a menudo se supone como una función aditiva lineal en los atributos, como:

$$V_{jq} = CE A_j + \sum_k \beta_{kj} x_{kjq}$$

⁷ Este desarrollo se basa en Bates, J. (1988).

En la cual los parámetros β se asumen constantes para todos los individuos pero pueden variar entre alternativas. La CEA es la denominada “constante específica de la alternativa” que representa la influencia neta de todas las características no observadas del individuo o de la alternativa en el modelo especificado, como son: comodidad y conveniencia de uso de un modo de transporte específico.

El individuo q elige la alternativa que maximiza su utilidad, es decir:

$$U_{jq} \geq U_{iq}$$

donde los subíndices “ i ” y “ j ” se refieren a las dos alternativas disponibles en este modelo binario. Esto es,

$$V_{jq} + \varepsilon_{jq} \geq V_{iq} + \varepsilon_{iq}$$

$$V_{jq} - V_{iq} \geq \varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq}$$

Dado que el individuo elige la opción que maximiza su utilidad, no conocemos el valor del lado derecho de la última desigualdad presentada y el procedimiento para determinar la probabilidad de elegir el modo j (alternativa j) por el individuo q viene dado por:

$$P_{jq} = \text{Prob}(\varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq} \leq V_{jq} - V_{iq}, \forall i, j)$$

Hasta aquí no es posible derivar una expresión analítica para el modelo sin conocer la distribución de los residuos ε . Entonces, asumiendo que los residuos asociados a cada alternativa tienen una distribución de Valor Extremo de Tipo I, tiene las mismas varianzas y no están correlacionados, puede utilizarse el modelo logit para la estimación. Alternativamente, si los residuos siguen una distribución de probabilidad normal debe aplicarse el modelo probit.

El modelo logit multinomial para la elección entre k alternativas expresa la probabilidad de que un individuo elija alguna alternativa j como una función de las utilidades de las k alternativas disponibles:

$$P_j = \frac{\exp(V_j)}{\sum_k \exp(V_k)}$$

En el caso binario, cuando solo tenemos dos alternativas disponibles denominadas “*i*” y “*j*”, el modelo es:

$$P_j = \frac{\exp(V_j)}{\exp(V_i) + \exp(V_j)} = \frac{1}{1 + \exp(V_i - V_j)} = \frac{1}{1 + \exp-(V_j - V_i)}$$

Los dos últimos miembros de la igualdad sólo serán aplicables a las variables en diferencias cuando las variables que entran en la utilidad sistemática sean genéricas y los coeficientes sean fijos entre alternativas.

A los fines de estimar un modelo binario que incluya la elección entre los modos de transporte: autobús y taxi/remis, la especificación de la función de utilidad es:

$$U_{kq} = V_{kq} + \varepsilon_{jq}$$

Donde $k=j$ para el taxi/remis y $k=i$ para el modo de transporte autobús (denominado ómnibus común⁸), de tal manera que las utilidades sistemáticas son:

$$V_{jq} = CEA_j + \beta_1 TVt + \beta_2 Ct + \beta_3 TEt$$

$$V_{iq} = \beta_1 Toc + \beta_2 Coc + \beta_3 TEoc$$

Este modelo simple especifica coeficientes genéricos⁹ y efectos principales en las variables independientes o atributos, que son los siguientes:

Toc: tiempo de viaje en autobús (denominado ómnibus común cotidianamente en Córdoba)

Coc: Costo de viaje de ida en ómnibus común

TEoc: Tiempo de espera del ómnibus común.

TVt: tiempo de viaje en taxi/remis

Ct: Costo de viaje en taxi/remis

TEt: tiempos de espera promedio en los taxi/remis

⁸ Se adopta la denominación ómnibus común para distinguirlo de los denominados ómnibus diferenciales, que funcionaban hasta hace poco tiempo en la ciudad de Córdoba y que contaban con características de calidad superior a los ómnibus urbanos convencionales.

⁹ En este modelo planteado, al incluirse solo variables explicativas genéricas (que entran en las especificaciones de utilidad de todos los modos de transporte considerados), los parámetros estimados para estas variables genéricas serán idénticos entre medios de transporte. Esto puede probarse estadísticamente.

El modelo a estimarse, en las diferencias de las variables independientes genéricas consideradas es el siguiente:

$$V_{jq} - V_{iq} = CEA_j + \beta_1(TVt - Toc) + \beta_2(Ct - Coc) + \beta_3(TEt - TEoc)$$

Otras formas de especificación del modelo, incluyen: la especificación de no linealidades de las variables independientes, la inclusión de efectos de interacción¹⁰ entre las mismas y la incorporación de variables ficticias que permitan realizar segmentaciones de mercado por propósito de viaje o por niveles de ingreso por ejemplo.

Cabe señalar, que el diseño del experimento de preferencias declaradas deberá adecuarse a la forma funcional especificada de la utilidad sistemática o determinística, debiendo señalarse que aunque los efectos principales sean de gran interés en las aplicaciones prácticas de preferencias declaradas en contextos de elección de modo de transporte, se han encontrado evidencias de la existencia de efectos de interacción entre atributos como tiempo de viaje, tarifa, distancia de caminata a la parada y frecuencia de servicio.

Numerosas aplicaciones en las áreas de marketing, transporte y economía ambiental usan la especificación simple del modelo logit multinomial (LMN), sin embargo, el uso de este modelo implica una serie de supuestos específicos, a saber:

- Términos de error aleatorio independientes e idénticamente distribuidos,
- Especificación de un modelo de corte transversal sin estructura de rezagos distribuidos,
- Gustos no separables y otros componentes que definen el rol de los atributos en cada expresión de utilidad indirecta (que se confunde con la escala),
- Parámetros de escala constantes en todas las alternativas y arbitrariamente normalizados al valor de uno,

¹⁰ La inclusión de efectos de interacción entre dos atributos se dan si las preferencias de los consumidores relacionadas con los niveles de un primer atributo dependen de los niveles del segundo atributo. Por ejemplo, si los consumidores son menos sensibles a los precios a medida que aumentan las frecuencias de servicio (calidad), la pendiente (coeficientes estimados) de la variable precio diferirán según los niveles de las frecuencias de los servicios, por lo tanto las preferencias por combinaciones de precio y frecuencia requerirán que se representen estas preferencias en la especificación econométrica del modelo.

- No existencia de heterogeneidad inobservable de las preferencias,
- Parámetros de utilidad fijos (no aleatorios).
- El modelo logit multinomial posee la propiedad de *Independencia de las Alternativas Irrelevantes (IAI)*, que establece que la razón de las probabilidades de elección de una alternativa sobre otra (asumiendo que ambas tienen una probabilidad de elección distinta de cero) no será afectada por la presencia o ausencia de cualesquiera alternativas adicionales en el conjunto de elección. Esta propiedad de IAI otorga al modelo una ventaja o fortaleza y una desventaja o debilidad. La ventaja es que provee un modelo de elección de cálculo fácil, permitiendo introducir o eliminar alternativas en los conjuntos de elección sin necesidad de re-estimar el modelo¹¹. La desventaja es que los atributos observables e inobservables de la utilidad pueden no ser independientes y/o si los componentes inobservables de la utilidad están correlacionados entre alternativas, esto llevará a parámetros de la función de utilidad sesgados, introduciendo significativos errores de predicción del modelo.¹²

Una característica importante que surge al estimar modelos de elección discreta, y dentro de ellos el LMN, es el llamado *problema del factor de escala* que implica que los coeficientes del modelo LMN estarán multiplicados por un escalar relacionado con los errores en las respuestas de preferencias declaradas.

Recordando que en un modelo de preferencias declaradas el término de error puede componerse por un error aleatorio y un error de medición asociado al experimento de preferencias declaradas, $\varepsilon_{jq} = \eta_{jq} - \tau_{jq}$.

En el caso de elección con dos alternativas, el modelo LMN expresado en diferencias es:

$$P_j = \frac{1}{1 + e^{\Omega(V_i - V_j)}}; \quad \Omega = \frac{\pi}{\sqrt{3} \cdot \sigma_{de}}$$

¹¹ Cualquier otra especificación del modelo de elección requiere reestimación.

¹² Este supuesto de IAI no es, a priori, deseable o indeseable. Solo es necesario probar su existencia a través de test estadísticos adecuados, como el propuesto por Hausman y McFadden (1984), para estar seguros de utilizar el modelo LMN y obtener buenas predicciones.

donde:

Ω : es el factor de escala o parámetro de precisión, que es una función inversa de la desviación estándar de los efectos inobservables o errores de las respuestas de preferencias declaradas.

σ_{de} : es la desviación estándar de la diferencia de los errores, ε_{jq} .

Al estimar un modelo LMN y realizar pronósticos a partir del mismo se está asumiendo que el factor de escala es igual a la unidad. Pero el factor de escala podrá asumir valores entre cero y uno y será menor cuanto mayor sea el error en los datos de preferencias declaradas.

Las valoraciones relativas (como por ej., el valor del tiempo de viaje al trabajo en ómnibus) no se verán afectadas ya que como se verá en el apartado sexto, al obtenerse a partir de funciones de utilidad lineales y como resultado del cociente entre dos parámetros estimados de un modelo LMN que incluyen el mismo factor de escala.

La falta de cumplimiento de los supuestos en los que se base el modelo LMN ha llevado a la estimación de modelos más complejos que permiten salvar estas deficiencias, entre los cuales pueden citarse:

- El modelo probit multinomial (PMN) que relaja totalmente el supuesto de existencia de errores aleatorios idénticamente distribuidos para cada alternativa de elección, aunque es de más difícil cálculo que el modelo LMN;
- El modelo de McFadden denominado de *valor extremo generalizado*, que generaliza el modelo LMN relajando parcialmente el supuesto de existencia de errores independientes e idénticamente distribuidos de manera tal que los componentes están correlacionados dentro de una partición del conjunto de elección pero no lo están entre particiones;
- Un caso particular del modelo de valor extremo generalizado es el modelo logit anidado o jerárquico (NL)¹³, que permite unir decisiones diferentes pero interdependientes y descomponer una decisión simple para minimizar la restricción de igualdad de sustitución cruzada entre alternativas;
- Otros modelos más recientes desarrollados relajan algunos de los supuestos del modelo LMN y de los modelos NL: el modelo HEV (de valor extremo heterocedástico); el modelo CovHet (logit de heteroge-

¹³ Adoptado por las siglas del inglés Nested logit.

neidad de la covarianza); el modelo RPL (logit de parámetro aleatorio) también denominado logit mixto (ML); el modelo logit multinomial heteroscedástico de clase latente; el modelo probit multinomial multi-periodo (MPMNP).¹⁴

V. DISEÑO DEL CUESTIONARIO DE PREFERENCIAS DECLARADAS

Esta sección desarrolla los fundamentos y el diseño de una *encuesta de elección* del modo de transporte en la realización de viajes urbanos al trabajo o por estudio. La selección de este tipo de diseño experimental se basa en la necesidad de pronosticar la probabilidad (o cuota de mercado) de utilización de los modos de transporte públicos masivos en comparación con los modos de transporte privados y públicos no masivos (esto es, automóvil particular y taxi/remis). Como ya se señaló, los diseños de elección resultan más cercanos al comportamiento habitual de elección de los individuos que las jerarquizaciones y los escalamientos.

Las técnicas de análisis conjunto separan los atributos de cada alternativa de elección que enfrenta el individuo en un determinado número de niveles que se definen en forma estadísticamente eficiente y que permiten descomponer la respuesta del experimento en función de ellos. Cada encuestado contribuye en la muestra total con una cantidad de observaciones igual al número de opciones hipotéticas contestadas. Según el tipo de respuesta arrojada por el experimento pueden distinguirse tres categorías principales de diseño experimental:

Escalamiento (rating): En el escalamiento la respuesta es organizada en una escala numérica o semántica que indica satisfacción, atractivo o probabilidad de uso de un medio de transporte determinado y que se transforma en una escala de utilidad bajo ciertas condiciones o supuestos establecidos por el investigador. Sirven para expresar grados de preferencia siendo la más utilizada en las aplicaciones empíricas la que otorga a cada opción una de las categorías que conforman una escala de categorías de elección (category rating scale).

¹⁴ En este estudio no se profundizará en estos modelos dado que el objetivo es desarrollar un ejercicio completo de aplicación de un diseño experimental para modelar la elección de modo de transporte aplicando el modelo logit multinomial. Para una revisión de estos distintos modelos avanzados ver Louviere, et. al. (2000), capítulo 6.

Jerarquización (ranking u ordenamiento completo): En la jerarquización, en cada respuesta se comparan y ordenan todas las alternativas según atractivo o preferencia. Luego se realiza la estimación que permite encontrar una función de utilidad consistente con el orden de las alternativas escogido por el encuestado. La jerarquización puede obtenerse por dos caminos: (a) pidiendo al consumidor que ordene los modos de transporte directamente, (b) observando sus elecciones a través de un periodo largo de tiempo y luego ordenando según frecuencia de uso.

Elección (choice): En los experimentos de **elección**, el encuestado simplemente debe escoger la alternativa que considere mejor, dentro del conjunto disponible de alternativas presentadas. Existen dos posibilidades de aplicación:

Elección discreta de una opción de un conjunto de alternativas, o

Elección discreta que clasifica un conjunto de opciones en dos grupos del tipo: prefiero esta opción/no prefiero esta opción, considero esta opción/no considero esta opción.

El conjunto de datos de la variable dependiente producido por cada respuesta revelará información que indica si una alternativa es elegida o no como así también el conjunto de alternativas existente (denominado conjunto de elección).

La situación de elección presentada al encuestado puede ejemplificarse a partir de la Tabla 1, en la cual se presentan cuatro opciones de viaje al trabajo entre las cuales el encuestado debe elegir solo una.

Tabla 1
Elección discreta del modo de viaje al trabajo

Modos (marcas) de transporte para el viaje al trabajo	Elección (marcada con una X)
Tomar autobús	
Tomar taxi	
Conducir el auto propio (conductor)	X
Viajar como acompañante en auto no propio (auto compartido)	

La información brindada por la elección anterior revela que:

Auto \succ autobús, taxi, auto compartido¹⁵

Autobús = taxi = auto compartido

Se dice que esta información está “muy débilmente ordenada” no pudiendo determinarse a partir de ella un ordenamiento completo de preferencias para este consumidor. Para conocer el ordenamiento completo y la manera en que es probable que cambie en respuesta a cambios en los atributos de los modos de transporte, el sistema de transporte, las características de los individuos o el ambiente general, se necesitarían: (a) más respuestas discretas de un mismo individuo y/o (b) respuestas de más individuos considerando un amplio rango de atributos.

Los conjuntos de elección y la codificación de las elecciones resultantes se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2
Creación de conjuntos de elección y codificación de elecciones a partir de la respuesta de un escenario del experimento de elección discreta

Conjunto de elección	Alternativa	Elección codificada
1	Auto (conductor)	1
1	Auto (acompañante)	0
1	Taxi	0
1	Autobús	0

Como puede apreciarse en la Tabla 2, un experimento de elección discreta genera sólo un conjunto de elección y la codificación de las respuestas con un 1 para la opción elegida (modo de transporte) y ceros para las demás.

La situación de elección para el caso de la elección binaria de dos modos de transporte es más sencilla que la del ejemplo anterior y se presenta en la Tabla 3.

¹⁵ El símbolo \succ significa “preferido a”.

Tabla 3
Elección discreta del modo de viaje al trabajo con dos alternativas de transporte

Modos (marcas) de transporte para el viaje al trabajo	Elección (marcada con una X)
Tomar autobús	X
Tomar taxi/remis	

En la Tabla 4 se presenta el conjunto de elección y la codificación de la elección entre estos dos modos de transporte.

Tabla 4
Conjunto de elección y codificación de elecciones a partir de la respuesta de un escenario del experimento de elección discreta binaria

Conjunto de elección	Alternativa	Elección codificada
1	Tomar autobús	1
1	Tomar auto/remis	0

La elección anterior revela que en este escenario el autobús es preferido al auto/remis.

Las etapas a seguir en el diseño del experimento de preferencias declaradas involucran:

- Identificación del ámbito de elección, los factores a considerar y su rango de variación;
- Preparación de una versión inicial del experimento, diseñando un borrador del cuestionario a utilizar como instrumento de medición;
- Realización de reuniones del tipo grupo focal, a fin de mejorar el cuestionario. En estas reuniones los participantes completan el cuestionario y exponen sus puntos de vista al respecto, con la finalidad de detectar posibles ambigüedades o falencias;
- Evaluación del resultado de la etapa anterior y rediseño del cuestionario;
- Realización de un pre-examen a través de una encuesta piloto, para evaluar los resultados y rediseñar el cuestionario de ser necesario;
- Realización de una simulación, para verificar si el cuestionario permi-

te recuperar los valores de los parámetros de cada atributo, utilizando métodos econométricos que permiten obtener la bondad del ajuste de las estimaciones.

Todo diseño experimental de preferencias declaradas consiste en una serie de variables independientes (los atributos de los modos de transporte en este caso, por ejemplo el costo monetario del viaje, el tiempo de viaje, etc.) que están relacionadas con una variable dependiente (en este estudio, la elección del modo de transporte para realizar un viaje tipo, a saber: ómnibus o taxi/remis). Las variables independientes o factores, pueden expresarse en una escala continua (como por ejemplo, el tiempo de viaje o el tiempo de espera) o en una escala discreta (ej., la calidad del servicio).

Cada variable independiente (denominada factor o atributo) se caracteriza por una determinada cantidad de niveles (o valores). Por ejemplo, una de las variables clave a considerar en todo experimento de elección modal será el precio o tarifa de los servicios de transporte público de pasajeros, que podría incluir tres niveles: \$0,90, \$1,20 y \$1,50. Cada nivel de un factor que caracteriza a una alternativa recibe el nombre de tratamiento. Si más de un factor es manipulado presentando distintas combinaciones de niveles de factores, se habla de tratamiento combinado. Por ejemplo, si un diseño factorial posee dos atributos con dos niveles cada uno, la cantidad de posibles combinaciones es igual a $2^2 = 4$; si tenemos tres atributos con dos niveles cada uno, entonces existirán $2^3 = 8$ tratamientos o escenarios de elección.

Los diseños factoriales completos son diseños de experimentos en los cuales cada nivel de cada atributo se combina con todos los niveles de los demás atributos. Entonces, es la simple enumeración factorial de todas las posibles combinaciones de niveles de los atributos. Cuando esta enumeración es completa se habla de un diseño factorial total (full factorial) y garantiza que todos los efectos de interés de los atributos son independientes, por lo que se dice que “los atributos son independientes por diseño”. Por lo tanto, los parámetros de interés en los modelos de elección especificados podrán estimarse independientemente con los resultados del experimento.

Un “efecto” desde el punto de vista de la estadística matemática es una comparación de las medias de los niveles a través de restricciones ortogonales. Un efecto principal es la diferencia en las medias de cada nivel de un atributo particular y la “gran media” tal que la suma de las diferencias sea cero. Los “efectos de interacción” entre dos atributos ocurren

si las preferencias de los consumidores con respecto a los niveles de un primer atributo dependen de los niveles de un segundo atributo, por ejemplo la existencia de una relación entre calidad y precio.

Esto forma la base de los diseños experimentales factoriales, por medio de los cuales se determina el total de combinaciones posibles de cada atributo o factor con sus respectivos niveles.

Si consideramos un experimento de elección modal con tres atributos, a saber: precio o costo monetario de viaje, tiempo de viaje y tiempo de espera; con dos niveles cada uno se tendrá un total de 2^3 combinaciones posibles.

Una vez obtenido el total de combinaciones posibles se utilizan tablas (denominados planes maestros) que muestran el número de situaciones hipotéticas (opciones presentadas al encuestado) requeridas que garanticen la independencia entre las distintas opciones. Uno de estos planes maestros es el diseñado por Han y Shapiro (1966) que se utiliza en este estudio para generar el diseño factorial que servirá para presentar los distintos escenarios de elección a los encuestados.

Existen diseños experimentales que involucran efectos principales de los atributos y otros que permiten estimar interacciones entre atributos, considerados a través de una especificación multiplicativa de los mismos en la función de utilidad del individuo. Cabe señalar, que el número de combinaciones posibles (opciones) en un experimento crece en forma exponencial con el número de factores o atributos considerados.

Por esta última razón es que la elección de diseños factoriales completos (o totales) que permiten considerar en la modelación todas las posibles interacciones requiere construir un gran número de opciones en la encuesta. Para solucionar este problema y minimizar el sesgo por fatiga del encuestado, se utilizan *diseños factoriales fraccionales* que desprecian las interacciones (o productos) de algunos o todos los atributos, suponiendo que algunas interacciones entre atributos tienen una influencia despreciable en la respuesta. Los diseños factoriales fraccionales son formas de seleccionar sistemáticamente subconjuntos de tratamientos combinados del diseño factorial total tal que los efectos de interés primordial puedan estimarse de la manera más eficiente, suponiendo que algunas interacciones no son importantes o significativas. En general, los diseños factoriales implican una pérdida de información estadística, requiriendo realizar supuestos sobre la no significatividad de efectos de orden superior, por ejemplo: interacciones entre dos o más atributos.

En general, se argumenta que para modelos lineales:

- Los efectos principales representan del 70% al 90% de la varianza explicada de la variable dependiente;
- Las interacciones de a pares de atributos representan entre el 5% y el 15%;
- Las interacciones de mayor orden representan el porcentaje restante de la varianza explicada.

Existen dos metodologías a seguir para seleccionar el diseño experimental factorial adecuado, a saber:

- a) Una vez determinado el número de variables o atributos en el experimento, los niveles de cada uno y las interacciones entre atributos, debe encontrarse un plan maestro (master plan) que permita estimar los efectos principales e interacciones especificadas en el modelo de elección.
- b) Se establece en primer término el número de situaciones experimentales o escenarios de elección unido a limitaciones en el número de escenarios a presentar a los encuestados o considerando limitaciones presupuestarias. Se determina el número de variables o atributos (efectos principales) e interacciones, luego el número de niveles de algunas variables pueden ajustarse para mantener u obtener el número máximo de escenarios dentro de los límites especificados previamente.

Una variación de este método se da cuando es deseable sumar una o más variables o niveles al experimento si puede encontrarse un diseño que no exceda los límites de escenarios máximos especificados. En este caso, se localiza dentro del plan maestro la familia de planes que permitan el uso de la configuración mínima y luego se investiga si es posible aumentar el número de variables o de niveles sin aumentar el tamaño de la muestra de escenarios presentados, sin disminuir el número de interacciones estimables por debajo de un número deseado o sin disminuir los grados de libertad de los residuos por debajo de un nivel mínimo.

Además de utilizar diseños factoriales fraccionales, algunas de las estrategias utilizadas para disminuir el número de opciones presentadas involucran:

- reducir el número de niveles o el número de atributos;
- realizar una presentación aleatoria de un subconjunto de opciones;
- realizar una serie de experimentos con cada individuo, ofreciendo diferentes atributos, pero manteniendo al menos un atributo común a todos,

para permitir comparaciones relativas de preferencia sobre todos los atributos objeto de investigación;

- eliminar las opciones que puedan dominar o ser dominadas por el resto de las alternativas disponibles manteniendo al menos una para realizar una validación de confiabilidad de las respuestas dadas por el entrevistado;
- realizar un diseño en la diferencia de los atributos, reduciendo el número de atributos y tratamientos (situaciones de elección) en una cantidad considerable. Por ejemplo, un diseño experimental de dos alternativas (o modos de transporte) con tres atributos cada uno (lo que hace un total de seis atributos) con cuatro niveles cada uno puede presentarse a través de un diseño fraccional de 25 tratamientos; presentando los atributos en diferencias se reduce a tres atributos (en diferencias de los niveles de los atributos de las alternativas originales) y 16 tratamientos en total. De esta manera, el diseño experimental es ortogonal en las diferencias de los atributos. De todos modos, la presentación de los tratamientos debe hacerse en valores absolutos de los niveles de los atributos de manera que los entrevistados puedan realizar la elección de la alternativa de manera más realista.

Esta última estrategia para disminuir el número de escenarios de elección presentados a cada encuestado se utiliza cuando se estimará un modelo binario (logit por ejemplo) y es el denominado diseño factorial en diferencias de los atributos. Así, si queremos presentar una situación de elección de dos alternativas (modos de transporte por ejemplo), donde cada una de las alternativas cuenta con tres atributos a dos niveles cada uno, un diseño factorial completo daría como resultado un total de $2^3 \times 2 = 2^6 = 64$ perfiles o escenarios de elección. Al especificar el modelo de elección en las diferencias de los atributos, el número de escenarios se reduce a $2^3 = 8$, más conveniente para los encuestados.

Como ya se ha señalado, los diseños factoriales fraccionales ortogonales se generan de manera tal que los atributos del diseño sean estadísticamente independientes o no correlacionados. En este tipo de diseño la eficiencia estadística del diseño no se considera. La característica principal es que al presentar combinaciones de niveles de atributos que son independientes (o no correlacionados), se elimina el problema de la multicolinealidad al estimar económicamente los modelos de elección discreta representativos de la utilidad de los individuos. Otro tipo de diseño experimental de elección diferente del diseño factorial ortogonal es el denominado diseño experimental óptimo, presentado por Rose y Hensher (2004).

Este tipo de diseño produce errores mínimos alrededor de los parámetros a estimar, son los denominados diseños D-óptimos, que en general no son ortogonales pero sí los más eficientes estadísticamente.

El contexto de elección a presentar a los individuos (ciudadanos de la Ciudad de Córdoba) se circunscribe a la elección del modo de transporte para realizar viajes al trabajo o al estudio, considerando el autobús (incluido trolebús) y/o el taxi/remis. Los factores (variables o atributos) considerados involucran: el costo del viaje (tarifas en el caso del autobús o taxi/remis), el tiempo de viaje y el tiempo de espera. Cabe señalar que un viaje típico (de una extensión igual al promedio de los viajes realizados en la ciudad) es de aproximadamente cinco kilómetros de recorrido, cuestión que debe ser aclarada en la encuesta. Se consideran además, tres niveles de los atributos que se consideran.

La encuesta de preferencias declaradas a realizar permitirá estimar la demanda de transporte de ómnibus y taxi/remis en la ciudad de Córdoba para viajes al trabajo (o estudio) o en horario de trabajo (o estudio) por medio de la estimación de un modelo logit multinomial.

La variable dependiente es la elección del modo de transporte a utilizar, entre ómnibus o taxi/remis.

Las variables independientes o atributos considerados y el número de niveles de cada uno son:

- Costo de viaje (3 niveles)
- Tiempo de viaje (3 niveles)
- Tiempo de espera (3 niveles)

Un diseño factorial completo implicaría la presentación de $3^{3 \times 2} = 3^6 = 729$ escenarios de elección, que implicaría la posibilidad de estimar todos los efectos principales e interacciones entre atributos.

Se ha optado por utilizar un diseño factorial ortogonal en diferencias de los atributos, con lo cual el número de escenarios a presentar en un diseño factorial completo sería de $3^3 = 27$ perfiles o escenarios.

Para reducir el número de escenarios de elección a los encuestados, se ha utilizado una fracción de $3^{3-1} = 3^2 = 9$ del diseño factorial de 3^3 . Así, el diseño ortogonal en diferencias de atributos de las alternativas de viaje debe responder al esquema de la Tabla 5.

Tabla 5:
Diseño ortogonal en diferencias de los atributos

Perfil	Modo de transporte: taxi/remis			Modo de transporte: ómnibus			Diferencia absoluta de niveles			Codificación dummy		
	Factor 1: Tarifa o costo	Factor 2: Tiempo de viaje (min)	Factor 3: Tiempo de espera (min)	Factor 1: Tarifa o costo	Factor 2: Tiempo de viaje (min)	Factor 3: Tiempo de espera (min)	Factor 1: Tarifa o costo	Factor 2: Tiempo de viaje (min)	Factor 3: Tiempo de espera (min)	Factor 1: Tarifa o costo	Factor 2: Tiempo de viaje	Factor 3: Tiempo de espera
1	\$ 6,00	15	5	\$ 1,50	35	15	\$ -4,50	20	10	0	0	0
2	\$ 6,00	10	15	\$ 1,50	25	20	\$ -4,50	15	5	0	1	2
3	\$ 6,00	5	10	\$ 1,50	15	25	\$ -4,50	10	15	0	2	1
4	\$ 5,00	15	10	\$ 1,20	35	25	\$ -3,80	20	15	1	0	1
5	\$ 5,00	10	5	\$ 1,20	25	15	\$ -3,80	15	10	1	1	0
6	\$ 5,00	5	15	\$ 1,20	15	20	\$ -3,80	10	5	1	2	2
7	\$ 4,00	15	15	\$ 0,90	35	20	\$ -3,10	20	5	2	0	2
8	\$ 4,00	10	10	\$ 0,90	25	25	\$ -3,10	15	15	2	1	1
9	\$ 4,00	5	5	\$ 0,90	15	15	\$ -3,10	10	10	2	2	0

Cada uno de los nueve perfiles (o escenarios de elección) serán presentados a los encuestados de manera que ellos puedan leer los niveles de los dos modos de transporte sobre los que deben realizar la elección. Sin embargo, la ortogonalidad de este diseño se presenta en las diferencias absolutas de los niveles de los atributos.

Este diseño en diferencias supone que todos los efectos principales de las diferencias de los atributos son independientes de las interacciones de a pares de las diferencias de atributos, por lo que no permite estimar interacciones de manera directa.

Los niveles especificados en diferencia de los atributos, considerando la diferencia entre el transporte por ómnibus menos el transporte por taxi/remis son los siguientes:

- Diferencia de Tarifas: - \$ 4,50; - \$ 3,80 y - \$ 3,10;
- Diferencia de tiempos de viaje: 10 minutos, 15 minutos y 20 minutos de viaje;
- Diferencia de tiempos de espera: 5, 10 y 15 minutos de espera;

Se ha tenido cuidado de establecer los niveles de los costos de viaje y tiempos de viaje y de espera de acuerdo con la experiencia actual de los entrevistados, con valores centrales del intervalo de tarifas muy cercanos a la realidad.

El experimento de elección utiliza un diseño factorial fraccional ortogonal en diferencias de las variables o atributos que determinan la elección.

En general, para diseñar el cuestionario de elección a utilizar en el experimento de preferencias declaradas, es necesario contar con alguna información adicional de los promedios de las variables de compromiso (o variables de trade-off) relacionadas con la valoración otorgada por los usuarios (actuales y potenciales) a los atributos de viaje. Pueden utilizarse valores o funciones límite para las valoraciones de tiempo de viaje y tiempo de espera, que permiten identificar los umbrales a partir de los cuales el consumidor diferencia claramente su preferencia de modo de transporte por encima o por debajo de dicho valor o función límite.

Dado que no existen en Argentina estimaciones de la valoración de los tiempos de viaje ni de la valoración de los tiempos de espera (las dos principales valoraciones utilizadas en el diseño de experimentos de preferencias declaradas para estudios de transporte público), el diseño realizado admite un amplio rango de valoraciones del tiempo por parte de los

consumidores. Asimismo, permitiría contar con las primeras estimaciones de este tipo.

Un diseño alternativo estaría compuesto por ejemplo por dos variables (o atributos) para cada alternativa de elección con tres niveles cada uno y una tercera variable con dos niveles, de los que se obtiene un número de combinaciones de las diferencias de los niveles (diseño factorial total) igual a $3^2 \times 2^1 = 18$, implicando un diseño factorial completo en las diferencias de los atributos, que permite estimar todos los efectos de interacción entre pares de atributos.

En el *Anexo* se presentan los dos cuestionarios derivados de los dos experimentos diseñados.

El cuestionario de la encuesta presenta el nivel de los atributos en términos absolutos, los costos de viaje y los tiempos de viaje en los modos de transporte para un viaje de ida. Los valores fueron seleccionados de manera que concuerden con la realidad y presentados en unidades enteras (redondeando) para hacer más simple el ejercicio de respuesta.

Luego de obtener los datos de las respuestas de los encuestados y antes de la estimación del modelo LMN podrían recodificarse los niveles de los atributos de la siguiente manera:

- a) las variables cualitativas en estudios de preferencias declaradas en general se recodifican utilizando “contrastes de códigos de efectos” en vez de “códigos dummy”, aunque debe señalarse que la decisión de usar cualquiera de estos códigos está liberada a cada analista,
- b) la codificación de las variables continuas en experimentos de preferencias declaradas en general se realiza eligiendo los niveles en algún patrón regular relacionado con el rango de valores de cada atributo en el mercado y los objetivos del estudio. Para asegurar la independencia entre los atributos de las alternativas (es decir, inexistencia de multicolinealidad en la estimación) se utiliza la codificación “ortogonal polinomial” para variables continuas. Louviere et. al. (2000) recomiendan el uso de la codificación ortogonal polinomial en la medida en que sea posible debido a dos razones: (1) hace más fácil la comparación de los coeficientes de diferentes atributos dado que el rango de las variables independientes transformadas será aproximadamente el mismo y (2) algunos algoritmos de estimación son sensibles al rango de las variables y pueden verse negativamente afectados por órdenes de magnitud muy diferentes entre los niveles de los atributos.

Sin embargo, a los efectos de este estudio se ha juzgado como más razonable la estimación con los niveles originales planteados en la encuesta, debido a que de ese modo se podrá estimar la sensibilidad de los consumidores a cada uno de los atributos y según los niveles especificados de acuerdo a la realidad.

VI. RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE POLÍTICA ECONÓMICA

En este estudio se ha realizado un análisis de la técnica de diseño de encuestas de preferencias declaradas con el objetivo de estimar la demanda de los distintos medios de transporte urbano, considerando solo el taxi/remis y el colectivo. Dada la restricción monetaria existente para la realización de una prueba de campo tomando una muestra representativa de la población, se realiza una estimación del modelo de elección discreta en función de la encuesta diseñada con datos relevados de una prueba piloto que sirve para analizar la experiencia de los encuestados con respecto al experimento y poder mejorarlo antes de llevarlo al campo. La prueba se realizó con estudiantes de la carrera de la Lic. en Economía, Contador Público y Lic. en Administración de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Córdoba. Los resultados del ajuste del modelo con las respuestas entregadas por los alumnos se realiza a los efectos de aplicar la metodología de estimación, pero debe considerarse que esta muestra *no es representativa de la población* en la que habría que tomar la muestra definitiva.

Para el caso bajo estudio, en el que se desea estimar el porcentaje (probabilidad o proporción) de usuarios de un determinado modo de transporte con relación al total de las alternativas definidas disponibles para los usuarios y utilizando la estimación de modelos de elección discreta debe tenerse especial cuidado en la toma de la muestra debido a que el logaritmo de la función de verosimilitud depende de cómo se obtienen los datos (Daganzo, 1980).

Dado que los experimentos de elección de preferencias declaradas involucran la entrevista a un individuo que responde a varios escenarios (también denominados conjuntos o situaciones de elección), una vez determinado el tamaño de la muestra en número de casos necesarios para estimar apropiadamente el parámetro poblacional especificado (por ej., proporción de usuarios de un modo de transporte), el número de encuestas

mínimas necesarias a realizar a las personas será igual al número de casos necesarios dividido el total de escenarios o tratamientos presentados a cada individuo entrevistado.

Entonces, el tamaño de la muestra de individuos estará relacionado con el diseño del experimento de elección que determina el número de escenarios de elección presentados a cada persona entrevistada según sean los efectos (directos o de interacción) que quieran estimarse en el modelo de elección especificado.

El primer diseño presentado en el anexo, considera 9 escenarios de elección por parte de cada entrevistado, así, si la proporción de viajes en taxi/remis en la población fuera del 20% del total de viajes realizados en taxi/remis y ómnibus por motivo laboral, entonces, determinando un error muestral de un 5% de esa proporción muestral, debería tomarse una muestra aleatoria simple de tamaño igual a 6.146 casos. Estos 6.146 casos implicarían entrevistar a 683 personas elegidas al azar del universo de usuarios de taxi/remis y colectivo, que podría estar representado por todos los usuarios de taxi/remis y colectivo en horas pico.

En el segundo diseño presentado en el anexo, que contiene 18 escenarios de elección, para obtener un total de 6.146 casos deberán realizarse unas 341 encuestas.¹⁶

Una vez que se ha estimado un modelo y se han obtenido buenos resultados, el análisis de políticas puede resumirse en tres etapas:

- 1) la definición de una situación base para el análisis y la calibración del modelo de preferencias declaradas;
- 2) el cálculo de algunos indicadores del mérito de cada atributo manteniendo los demás atributos constantes, por ejemplo, las elasticidades;
- 3) el análisis de la reacción agregada del mercado a políticas específicas a través del cambio simultáneo de los atributos.

En la primera etapa, la predicción de la cuota de mercado o probabilidad de elección de cada alternativa se realiza utilizando el método de enumeración muestral¹⁷.

¹⁶ Para una revisión del cálculo del tamaño muestral mínimo requerido se aconseja ver Paskota (2004) y Louviere, et. al. (2000).

¹⁷ El uso de este método asume que la muestra utilizada para estimar el modelo es representativa de la población. Ver Ortúzar y Willumsen (1995) y Train, K. (2003).

En general, los resultados del ajuste de un modelo de preferencias declaradas no reflejarán las cuotas de mercado exactas que existen al momento de la realización del estudio. Por esta razón es necesario conocer las cuotas de mercado de cada alternativa.¹⁸ Sin embargo, aplicando un modelo LMN con un conjunto completo de CEAs ($J - 1$ si hay J alternativas), las cuotas de mercado observadas serán iguales a las pronosticadas. Pero en preferencias declaradas, el mercado definido en los niveles de los atributos puede ser diferente al mercado real, por lo tanto habrá que realizar algunos ajustes para conseguir esta primera situación base. Estos ajustes forman el llamado proceso de calibración del modelo de preferencias declaradas para reproducir las cuotas de mercado de la situación base. El proceso de calibración más sencillo es ajustar las CEAs hasta conseguir replicar las cuotas de mercado reales. Otra manera de obtener las cuotas de mercado pronosticadas similares a las cuotas de mercado reales es la aplicación de modelos de estimación con datos mixtos de preferencias reveladas y declaradas.

En la segunda etapa, una de las medidas más utilizadas es la elasticidad, que representa el cambio porcentual en una respuesta (por ej., la cuota de mercado) causado por un cambio de un 1% en una determinada variable o atributo. Esta medida está definida para variables continuas, pero puede extenderse a variables cualitativas considerando el cambio en la cuota de mercado producido por un cambio de nivel de la variable cualitativa de interés.

La elasticidad en un punto se define como:

$$E_{X_{jq}}^{P_j} = \frac{\partial P_{jq} / P_{jq}}{\partial X_{jq} / X_{jq}} = \frac{\partial P_{jq}}{\partial X_{jq}} \cdot \frac{X_{jq}}{P_{jq}}$$

y debe evaluarse en X para la situación base. Operando convenientemente, la elasticidad en función de la utilidad indirecta o representativa queda como:

$$E_{X_{jq}}^{P_j} = \frac{\partial V_{jq}}{\partial X_{jq}} X_{jq} (1 - P_{jq})$$

¹⁸ En contraste, los estudios de preferencias reveladas sí reflejarán las cuotas de mercado automáticamente.

Adicionalmente, la elasticidad cruzada de la probabilidad de elección del modo j con respecto a una variable del modo alternativo es:

$$E_{X_{iq}}^{P(j)} = \frac{\partial P_j}{\partial X_{iq}} \frac{X_{iq}}{P_j} = -\frac{\partial V_{iq}}{\partial X_{iq}} X_{iq} P_{iq}$$

Otro procedimiento para establecer la importancia relativa de todos los atributos es calcular la valoración de un atributo en términos de otro atributo utilizado como numerario, tal como el precio o costo de la alternativa. Se trata de una tasa marginal de sustitución, expresada como:

$$TMgS_{km} = \frac{\partial X_{mj}}{\partial X_{kj}} = \frac{\partial P_j / \partial X_{kj}}{\partial P_j / \partial X_{mj}}$$

donde X_{mj} : es la variable precio de la alternativa j y X_{kj} es el atributo de interés, por ejemplo, el tiempo de viaje de la alternativa j . Con estas dos variables específicas consideradas, la $TMgS$ presentada es el valor monetario de los ahorros de tiempo de viaje. En este caso se trata de variables continuas, aunque el razonamiento puede extenderse a variables discretas. La expresión anterior está basada en la probabilidad de elección de una alternativa como la función de respuesta. Otras posibilidades de función de respuesta son: las cuotas de mercado estimadas y la función indirecta de utilidad. Si la función de utilidad es lineal en los parámetros, la $TMgS$ estimada será simplemente la razón de los parámetros estimados de las variables consideradas. Esta última estimación permite obtener directamente la valoración de los ahorros de tiempo de viaje y espera en este estudio. Es decir, el valor de los ahorros de tiempo de viaje se obtendrá como el cociente entre el parámetro estimado asociado a la variable tiempo de viaje y el parámetro estimado asociado a la variable costo del viaje (o tarifa). El valor de los ahorros de tiempo de espera se obtendrá como el cociente entre el parámetro estimado asociado a la variable tiempo de espera y el parámetro estimado de la variable costo del viaje.

A continuación, en la Tabla 6, se presentan los resultados de la estimación de la demanda basada en el cuestionario de 9 escenarios de elección. Se entrevistaron un total de 55 estudiantes que arrojó un total de 495 casos de elección.

Cabe señalar, que los resultados de la estimación del modelo basado en la encuesta conteniendo 18 escenarios de elección son similares,

razón por la cual no se exponen sus resultados aquí. En el caso de las encuestas con 18 escenarios, se realizaron sobre un total de 52 alumnos, arrojando un total de 936 casos de elección. En general, pudo verificarse que la encuesta con 18 escenarios de elección resultó agobiante para algunos encuestados, mientras que algunos opinaron que la de 9 escenarios era más difícil por la mayor cantidad de niveles de los atributos.

A los fines de minimizar el sesgo que pudiera ocurrir en la entrevista debido a la consideración por parte de los encuestados de situaciones de elección no habituales (a pesar de que esté escrito en el formulario que deben considerarse como “habituales”), se considera una mejor estrategia que se realice la entrevista cara a cara con cada entrevistado y por medio de la presentación de tarjetas individuales para cada escenario de elección, recordándole en cada caso que se trata de un viaje que aunque hipotético debe considerarse como un viaje “habitual” y para el motivo de viaje considerado.

También resulta importante la segmentación de viajes por distintos motivos. En particular, la mayoría de los estudios de este tipo se centran en viajes al trabajo. En esta prueba se consideró el universo de viajes al trabajo, por trabajo o por estudio como motivos de viaje debido a que se probaron los cuestionarios con alumnos de la universidad. Por lo tanto en la encuesta a realizarse en el mercado real, debería incluirse alguna pregunta que permita definir el segmento de usuarios según motivo al que pertenece cada entrevistado y realizar el diseño de la muestra considerando estos distintos segmentos del mercado.

La estimación se realizó con un modelo logit binario, donde la variable dependiente (denominada Choice) asume el valor 1 si el encuestado elige la alternativa “taxi/remis” y asume el valor cero si el encuestado elige la alternativa “colectivo” (autobús u ómnibus).

Las variables independientes del modelo se han denominado:

Cdif: diferencia en los costos de transporte (tarifas) entre el taxi/remis y el colectivo;

Tviadif: diferencia en los tiempos de viaje entre el taxi/remis y el colectivo;

Tespdif: diferencia en los tiempos de espera entre el taxi/remis y el colectivo.

Tabla 6
Resultados de la estimación logit del modelo de elección
de modo de transporte

Variable Dependiente: CHOICE
Método: Logit Binario estimado por máxima verosimilitud
Muestra: 1 – 495
Observaciones incluidas: 495
Convergencia alcanzada tras 3 iteraciones
Matriz de covarianzas calculada usando derivadas segundas

Variable	Coefficiente estimado	Error estándar	Estadístico z	Prob.
CDIF	-0.632123	0.097602	-6.476507	0.0000
TVIADIF	-0.080335	0.020314	-3.954646	0.0001
TESPDIF	-0.094945	0.022700	-4.182692	0.0000
Media de la variable dependiente	0.442424	Desvío estándar de la variable dependiente		0.497176
Error estándar de la regresión	0.476917	Criterio de información de Akaike		1.298124
Suma de cuadrados residual	111.9052	Criterio de Schwarz		1.323606
Logaritmo de verosimilitud	-318.2857	Criterio de Hannan -Quinn		1.308128
Logaritmo de verosimilitud promedio	-0.643001			
Observaciones con variable dependiente=0	276	Total de observaciones:		495
Observaciones con variable dependiente=1	219			

Como puede apreciarse, la estimación inicial no arrojó una constante específica de la alternativa estadísticamente significativa, razón por la cual se estimó el modelo sin constante. Esto significa que en el experimento presentado los encuestados no presentan a priori ninguna preferencia por alguno de los dos modos de transporte.

Resulta bastante difícil que esta situación exista en el mercado, pudiendo ser el resultado de:

- una mala interpretación de cada situación de elección por parte de los encuestados y que pueden haber interpretado que las situaciones de elección planteadas no eran habituales sino que obedecían a situaciones esporádicas, de allí que muchos hayan elegido el modo más caro para realizar el viaje (taxi/remis) en un número de oportunidades mayor que el que se daría en la realidad;

- una alta incertidumbre de los tiempos de viaje y de espera del modo de transporte más barato (colectivo) en la realidad actual de cada entrevistado, situación que podría haber colaborado en la elección del modo de transporte más caro pero más seguro en cuanto a certidumbre de tiempos de viaje y de espera, el taxi/remis.

La función de utilidad estimada, puede especificarse como:

$$V_{jq} - V_{iq} = \beta_1(TVt - TVc) + \beta_2(Ct - Cc) + \beta_3(TEt - TEc)$$

$$V_{jq} - V_{iq} = -0,080335(TVt - TVc) - 0,632123(Ct - Cc) - 0,094945(TEt - TEc)$$

Que puede expresarse considerando cada uno de los dos modos de transporte como:

$$V_{jq} = -0,080335 * TVt - 0,632123 * Ct - 0,094945 * TEt$$

$$V_{iq} = -0,080335 * Toc - 0,632123 * Coc - 0,094945 * TEoc$$

La función estimada indica que a medida que aumentan el tiempo de viaje, el costo del viaje y el tiempo de espera del servicio de transporte considerado, la utilidad del individuo disminuye, provocando una disminución de la probabilidad de elección de la alternativa cuyo costo o tiempo ha aumentado¹⁹.

Utilizando la utilidad representativa estimada, se obtuvieron las elasticidades de demanda de viajes en taxi/remis y ómnibus en relación a las variables independientes del modelo (ver Tabla 7).

Los valores estimados de elasticidades parecen en principio razonables, siendo la demanda de viajes en taxi/remis elástica con respecto al precio del servicio y la de ómnibus inelástica, aunque menor a la estimada en estudios anteriores utilizando datos de series temporales²⁰. Con respecto a los tiempos de viaje y espera la demanda de viajes tanto en taxi/remis como en ómnibus son inelásticas, siendo menos inelásticas en el caso de los viajes en taxi/remis, resultando también razonable dado que los usuarios están dispuestos a pagar más por un servicio con menores tiempos de viaje y espera, estando más dispuestos a abandonarlos ante aumentos de la misma magnitud porcentual que en los ómnibus.

¹⁹ Cabe señalar que los coeficientes estimados no deben interpretarse directamente para estimar cambios de magnitud en la probabilidad de elección de los modos de transporte.

²⁰ En el artículo de Sartori, Juan J. (2003) la elasticidad precio de la demanda de viajes en ómnibus fue de -0,29.

Tabla 7: Elasticidades de demanda estimadas

Elasticidad precio de la demanda de taxi/remis	-2,43
Elasticidad precio de la demanda de viajes en ómnibus	-0,17
Elasticidad tiempo de viaje de la demanda de taxi/remis	-0,62
Elasticidad tiempo de viaje de la demanda de ómnibus	-0,46
Elasticidad tiempo de espera de la demanda de taxi/remis	-0,73
Elasticidad tiempo de espera de la demanda de ómnibus	-0,44

Nota: Elaboración propia aplicando el método de enumeración muestral y calculando las elasticidades en el punto promedio del intervalo de valores de los niveles de cada variable.

Los resultados de la valoración del tiempo de viaje y de espera (o *TMgS*) derivados de la estimación son:

Valor del tiempo de viaje: \$ 0,1270/minuto, que equivale a \$ 7,62/hora.

Valor del tiempo de espera: \$ 0,1502/minuto, que equivale a \$ 9,01/hora.

Los valores obtenidos resultan razonables, el valor de los ahorros de tiempo de espera es superior al de los ahorros de tiempo de viaje, situación que se ha venido dando en la mayoría de los estudios hasta ahora. En general, la experiencia internacional indica que el valor de los ahorros de tiempo de espera es de 2 o más veces el valor de los ahorros de tiempo de viaje habiendo estudios en los que se ha estimado el valor de los ahorros de tiempo de espera como 4 veces el valor de los ahorros de tiempo de viaje²¹.

Por otra parte, a partir del modelo estimado pueden obtenerse distintos escenarios de pronósticos de la cuota de mercado de cada uno de los modos de transporte especificados en el experimento de elección.

²¹ Wardman, M. (2004).

Debido a que se trata de un modelo de elección individual, la obtención de la función agregada de demanda (a partir de la función de utilidad estimada) debe realizarse por el método de enumeración muestral.²²

Antes de realizar el análisis de políticas (o de los cambios en las cuotas de mercado provocados como resultado de cambios en las variables explicativas), resulta necesario calibrar el modelo estimado de manera de replicar la cuota de mercado de real con la muestra de respuestas obtenida con el experimento de elección desarrollado. La calibración más utilizada se realiza a través del ajuste de la constante específica de la alternativa del modelo estimado.

Por ello, se recalibró el modelo ajustando la constante y considerando que según datos de la encuesta de origen y destino realizada en la Ciudad de Córdoba en el año 2000, del universo total de viajes diarios realizados en ómnibus y taxis/remis, el 23% correspondió a taxi/remis y el 77% al modo ómnibus.²³

La función de utilidad en diferencias agregada calibrada (ajustando la constante específica de la alternativa), a utilizar para realizar predicciones quedó como:

$$V_{jq} - V_{iq} = -1,0625 - 0,080335*(TVt - TVc) - 0,632123*(Ct - Cc) - 0,094945*(TEt - TEc)$$

En la Tabla 8 se presentan los resultados del análisis de escenarios de política que utiliza como instrumentos a las tarifas de los servicios públicos y a los niveles de servicio (o calidad) modelados a través de los tiempos de viaje y espera. En la situación base (segunda columna del cuadro) se han supuesto niveles de las tarifas y los tiempos de viaje y espera de acuerdo con los promedios utilizados en los formularios de encuesta. Así, se ha supuesto la realización de un viaje de 5 kms a un costo de viaje en taxi/remis igual a \$5,00 y en ómnibus de \$1,20; el tiempo de viaje en taxi/remis se asume igual a 15 minutos mientras que en ómnibus se supone igual a 25 minutos; el tiempo de espera del taxi se supone de 10 minutos y el del ómnibus de 20 minutos. Esta situación base pronosticada a par-

²² El método de enumeración muestral consiste en calcular el promedio de las probabilidades de elección de los individuos utilizando la estimación realizada. Otra forma de realizar la agregación es obteniendo el promedio de las funciones de utilidad y calculando la probabilidad, que se ha denominado "método ingenuo" e introduce un sesgo de estimación importante.

²³ Dada la falta de información actual sobre la cantidad de viajes en taxi/remis y ómnibus en el mercado, se asume que no han cambiado desde la última encuesta de origen y destino realizada.

tir de la función de demanda agregada recalibrada, arrojó una cuota de mercado para el modo taxi/remis igual a 15,29%.

En cada uno de los siguientes escenarios considerados se presenta como resultado el pronóstico agregado de la cuota de mercado de cada uno de los dos modos de transporte considerados obtenido como reacción a una política específica. Aquí debe señalarse que se está asumiendo que el viaje tipo utilizado en el diseño del experimento de elección es representativo de la población de viajes y que el análisis podría extrapolarse a la población total de la ciudad en el caso en que la muestra tomada fuera representativa de ella. Además, los valores de tiempos promedio utilizados, si bien parecen sensatos, no se han obtenido por un análisis estadístico que pueda dar alguna confiabilidad estadística a estos valores asumidos.

En la situación 1 se utilizan las tarifas vigentes desde 2006 para pronosticar la demanda agregada. En esta situación, el pronóstico de la cuota de mercado es de un 8,75% para el modo taxi/remis.

En la situación 2 se supone un aumento de la tarifa de los taxi/remis en un 10%, que implica, *ceteris paribus*, la disminución de la cuota de mercado del taxi/remis a un 6,16%.

En la situación 3, se supone una disminución de la tarifa del ómnibus, lo que provoca un aumento de la cuota de mercado del taxi/remis a un 8,26%.

Los resultados de las situaciones 4 y 5 ejemplifican la tercera etapa del análisis de políticas, a través del cambio simultáneo de algunos atributos de las alternativas de viaje. En la situación 4, una mejora de la frecuencia de los ómnibus en 1/3 de la original conjuntamente con un aumento de la tarifa del taxi en un 10% generaría una disminución de la demanda de viajes en taxi/remis y un aumento significativo de la cuota de mercado del ómnibus, resultando en una cuota de mercado para el taxi/remis igual a 3,27% y para el ómnibus igual a 96,73%. En la situación 5, como consecuencia en la mejora en el tiempo de espera del taxi/remis a la mitad conjuntamente con un aumento de la tarifa del taxi/remis en un 10% con respecto a la situación base, la cuota de mercado del taxi/remis llega a un 9,55% y la del ómnibus a un 90,45%.

Tabla 8
Análisis de escenarios de política
(considerando un viaje tipo de 5 km de recorrido)

	Situación base (promedio de niveles)	Situación 1 (tarifas vigentes desde 2006)	Situación 2 (aumento tarifa taxi=10%)	Situación 3 (disminución tarifa colectivo=\$0.10)	Situación 4 (mejora en frecuencia de buses en 1/3 y aumento de tarifa de taxis en un 10%)	Situación 5 (mejora tiempo espera taxi a la mitad y aumento de tarifa de taxi/remis en un 10%)
(a) Tarifa Taxi	\$ 5,00	\$ 6,00	\$ 6,60	\$ 6,00	\$ 6,60	\$ 6,60
(b) Tarifa colectivo	\$ 1,20	\$ 1,20	\$ 1,20	\$ 1,10	\$ 1,20	\$ 1,20
(c) = (b) - (a)	\$ 3,80	\$ 4,80	\$ 5,40	\$ 4,90	\$ 5,40	\$ 5,40
(d) Tiempo viaje taxi	15	15	15	15	15	15
(e) Tiempo viaje colectivo	25	25	25	25	25	25
(f) = (d) - (e)	-10	-10	-10	-10	-10	-10
(g) Tiempo espera taxi	10	10	10	10	10	5
(h) Tiempo espera colectivo	20	20	20	20	13	20
(i) = (g) - (h)	-10	-10	-10	-10	-3	-15
√taxi - Vbus	1,7118	2,3439	2,7232	2,4071	3,3878	2,2485
Ptaxi =	15,29%	8,75%	6,16%	8,26%	3,27%	9,55%
Pbus =	84,71%	91,25%	93,84%	91,74%	96,73%	90,45%

Posteriormente, estos pronósticos de cuota de mercado pueden utilizarse para pronosticar el número total de viajes que se realizarán en cada uno de los dos modos considerados y analizar la sostenibilidad económica de cada uno de los sistemas de transporte ante los cambios expuestos en las situaciones de política planteadas. Así por ejemplo, podría suceder que un incremento de la tarifa de los taxi/remis de un 10%, *ceteris paribus*, provoque una disminución sustancial de la demanda de taxi/remis (situación 2 de la tabla 8) que podría hacer no sostenible la explotación del servicio por parte de los operadores de taxi/remis dada la cantidad de operadores existente y los costos de operación, inversión y mantenimiento. También podrían prevenirse posibles excesos de demanda que se generen como consecuencia de la aplicación de políticas, como en el caso de la situación 4 de la tabla 8, que generaría un notable aumento de la demanda del servicio de ómnibus cuyo pronóstico daría lugar a la planificación del aumento de la capacidad del sistema para hacer frente a la demanda esperada.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Bates, John (1988), "Econometric Issues in stated preference analysis". *Journal of Transport Economics and Policy*, January.
- Bradley, M. and Daly, A. (1994). "Use of the logit scaling approach to test for rank-order and fatigue effects in stated preference data". *Transportation* 21: 167-184.
- Daganzo, Carlos F. (1980). "Optimal Sampling Strategies for Statistical Models with Discrete Dependent Variables". *Transportation Science*, vol. 14, no. 4, November.
- Dunne, J. P. (1984), "Elasticity measures and disaggregate choice models", *Journal of Transport Economics and Policy*, May.
- Fowkes A. S. y Mark Wardman (1988). "The design of stated preference travel choice experiments". *Journal of Transport Economics and Policy*. Volume XXII, no 1.
- Glaister, S. (1983). "Some characteristics of rail commuter demand". *Journal of Transport Economics and Policy*, May. (Aggregate modelling).
- Han G. J. y S. S. Shapiro (1966). *A Catalog and Computer Program for the Design and Analysis of Orthogonal Symmetric and Asymmetric Fractional Factorial Experiments*. General Electric Research and Development Center, Schenectady, New York.

- Hausman, J.A. y Daniel McFadden (1984). "Specification tests for the multinomial logit model". *Econometrica* 52: 1219-40.
- Hensher, D.A.; Barnard, P.O. and Truong, T.P. (1988), "The role of stated preference methods in studies of travel choice". *Journal of Transport Economics and Policy*, Volume XXII, no 1.
- Hensher, David (1989), "Establishing a Fare Elasticity Regime for Urban Passenger Transport". *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 32, part 2.
- Hensher, David (1994), "Stated preference analysis of travel choices: the state of practice". *Transportation* 21: 107-133.
- Koppelman, Frank S. y Laurie A. Garrow (2005). "Efficient estimation of Nested Logit Models using choice-based samples: example applications". *84th Annual Transportation Research Board*. USA.
- Kroes, P. y Sheldon, R. (1988), "Stated Preference Methods: An introduction". *Journal of Transport Economics and Policy*, January.
- Kuhfeld, Warren F.; Randall D. Tobias y Mark Garratt (1994). "Efficient Experimental Design with Marketing Research Applications". *Journal of Marketing Research*, vol. 31, No. 4, November, pp. 545-557.
- Louviere, Jordan J. (1988), "Conjoint Analysis Modelling of Stated Preferences". *Journal of Transport Economics and Policy*, January.
- Louviere, Jordan J., David Hensher y Joffre Swait (2000). *Stated Choice Methods. Analysis and Application*. Ed. Cambridge University Press.
- McGeehan, H. (1984). "Forecasting the Demand for Inter-Urban railway travel in the republic of Ireland". *Journal of Transport Economics and Policy*, September. (Aggregate modelling).
- Paskota, Mira (2004). "Sample Design and Survey Error". *Resource paper for sample design workshop, Seventh International Conference on Travel Survey Methods*. Costa Rica, 1st – 6th August.
- Ortúzar, Juan de D. (1994). "Valor del tiempo para evaluación de proyectos". *Informe Ejecutivo, Fondecyt*, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Ortúzar, Juan de D. y L. G. Willumsen (1995). *Modelling Transport*. Ed. Wiley. Second edition.

- Ortúzar, Juan de D. (2000). *Modelos de demanda de transporte*. Alfaomega Grupo Editor, 2da. Edición.
- Rose, John M. y Michiel CJ Bliemer (2004). "The design of stated choice experimentes: The State of Practice and Future Challenges". Working Paper ITS-WP-04-09. *Institute of Transport Studies*. The University of Sydney and Monash University.
- Rose, John M. y David A. Hensher (2004). "Handling individual specific availability of alternatives in stated choice experiments". *Seventh International Conference on Travel Survey Methods*. Costa Rica, 1st – 6th August.
- Sartori, Juan José P. (2003). "Estimación de elasticidades de demanda para el transporte urbano de pasajeros de la ciudad de Córdoba (Argentina)". *Anales de la XXXVIII Reunión de la Asociación Argentina de Economía Política*. Mendoza.
- Train, Kenneth (2003). *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge University Press. UK.
- Wardman, M. (1988), "A comparison of revealed and stated preference models of travel behaviour". *Journal of Transport Economics and Policy*, January.
- Wardman, Mark (1991), "Stated Preference methods and travel demand forecasting: An examination of the scale factor problem". *Transportation Research*, vol. 25. A, número 2/3, pp. 79-89.
- Wardman, M. (1994). "Forecasting the impact of Service Quality Change on the Demand for Inter-Urban Rail Travel". *Journal of Transport Economics and Policy*, September.
- Wardman, M. (1997). "Interactions between Rail and Car in the inter-urban Leisure travel market in Great Britain", *Journal of Transport Economics and Policy*, May.
- Wardman, M. (2004). "Public transport values of time". *Transport Policy*, vol. 11, issue 4, October, pages 363-377.
- Weiers, Ronald W. (1986). *Investigación de Mercados*. Ed. Prentice – Hall – Hispanoamericana S.A.

VIII. ANEXO

**FORMULARIOS DE ENCUESTA DE PREFERENCIAS
DECLARADAS**

Usted ha sido seleccionado para participar en una encuesta de preferencias declaradas que servirá para planificar de una manera más eficiente los servicios de transporte urbano.

Suponga que debe realizar un viaje de ida a su lugar de trabajo o estudio habitual, con un recorrido aproximado de 5 kms.

Suponga que los únicos medios de transporte disponibles para que Ud. realice el viaje son el taxi (o remis indistintamente) y el transporte por colectivo.

Seleccione en cada uno de los escenarios presentados abajo el medio de transporte que elegiría.

Es importante que Ud. considere a cada escenario de manera independiente a los demás.

Escenario de elección Nro.	Medio de transporte	Costo de viaje de ida (en \$)	Tiempo de viaje (minutos)	Tiempo de espera (minutos)	Elección
					marque con una X la opción que elige en cada situación presentada
1	Taxi/remis	\$ 6,00	15	5	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,50	35	15	
2	Taxi/remis	\$ 6,00	10	15	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,50	25	20	
3	Taxi/remis	\$ 6,00	5	10	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,50	15	25	
4	Taxi/remis	\$ 5,00	15	10	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,20	35	25	
5	Taxi/remis	\$ 5,00	10	5	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,20	25	15	
6	Taxi/remis	\$ 5,00	5	15	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,20	15	20	
7	Taxi/remis	\$ 4,00	15	15	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 0,90	35	20	
8	Taxi/remis	\$ 4,00	10	10	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 0,90	25	25	
9	Taxi/remis	\$ 4,00	5	5	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 0,90	15	15	

Escenario de elección Nro.	Medio de transporte	Costo de viaje de ida (en \$)	Tiempo de viaje (minutos)	Tiempo de espera (minutos)	Elección
					marque con una X la opción que elige en cada situación presentada
1	Taxifemis	\$ 6,00	15	5	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,50	35	15	<input type="checkbox"/>
2	Taxifemis	\$ 6,00	10	10	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,50	25	25	<input type="checkbox"/>
3	Taxifemis	\$ 6,00	5	5	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,50	15	15	<input type="checkbox"/>
4	Taxifemis	\$ 5,00	15	5	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,20	35	15	<input type="checkbox"/>
5	Taxifemis	\$ 5,00	10	10	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,20	25	25	<input type="checkbox"/>
6	Taxifemis	\$ 5,00	5	5	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,20	15	15	<input type="checkbox"/>
7	Taxifemis	\$ 4,00	15	5	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 0,90	35	15	<input type="checkbox"/>
8	Taxifemis	\$ 4,00	10	5	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 0,90	25	15	<input type="checkbox"/>
9	Taxifemis	\$ 4,00	5	10	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 0,90	15	25	<input type="checkbox"/>
10	Taxifemis	\$ 6,00	15	10	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,50	35	25	<input type="checkbox"/>
11	Taxifemis	\$ 6,00	10	5	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,50	25	15	<input type="checkbox"/>
12	Taxifemis	\$ 6,00	5	5	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,50	15	15	<input type="checkbox"/>
13	Taxifemis	\$ 5,00	15	10	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,20	35	25	<input type="checkbox"/>
14	Taxifemis	\$ 5,00	10	5	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,20	25	15	<input type="checkbox"/>
15	Taxifemis	\$ 5,00	5	5	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 1,20	15	15	<input type="checkbox"/>
16	Taxifemis	\$ 4,00	15	5	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 0,90	35	15	<input type="checkbox"/>
17	Taxifemis	\$ 4,00	10	5	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 0,90	25	15	<input type="checkbox"/>
18	Taxifemis	\$ 4,00	5	10	<input type="checkbox"/>
	Colectivo	\$ 0,90	15	25	<input type="checkbox"/>