
ARTÍCULO

Juan José Pompilio Sartori
Carlos Walter Robledo

VIAJES AL TRABAJO EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA: ESTUDIO SOBRE LA ELECCIÓN MODAL Y LA PREFERENCIA POR LA TENENCIA DE VEHÍCULOS

Revista Transporte y Territorio N° 7, Universidad de Buenos Aires, 2012.



Revista Transporte y Territorio

ISSN 1852-7175

www.rtt.filo.uba.ar

Programa Transporte y Territorio

Instituto de Geografía

Facultad de Filosofía y Letras

Universidad de Buenos Aires



Cómo citar este artículo:

SARTORI, Juan José Pompilio y ROBLEDOS, Carlos Walter. 2012. Viajes al trabajo en la ciudad de Córdoba: estudio sobre la elección modal y la preferencia por la tenencia de vehículos. *Revista Transporte y Territorio N° 7, Universidad de Buenos Aires*. pp. 26-56. <<http://www.rtt.filo.uba.ar/RTT00703026.pdf>>

*Recibido: 11 de mayo de 2012
Aceptado: 19 de septiembre de 2012*



Viajes al trabajo en la ciudad de Córdoba: estudio sobre la elección modal y la preferencia por la tenencia de vehículos

Juan José Pompilio Sartori¹
Carlos Walter Robledo²

RESUMEN

En los últimos años hubo un aumento significativo de la tenencia de vehículos particulares (autos y motocicletas) en la Argentina y en la ciudad de Córdoba en particular, generando incrementos significativos en los niveles de tránsito urbano. El presente estudio utiliza una encuesta de preferencias declaradas para estimar un modelo de demanda logit jerárquico que integra la decisión de elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo y las preferencias por compra de automóvil y motocicleta como respuesta a cambios en los niveles de servicio de los modos de transporte existentes en una ciudad intermedia como Córdoba (Argentina). Los resultados confirman la hipótesis de interdependencia entre la elección de modo de transporte para viajar al trabajo y la decisión de tenencia de automóvil o motocicleta, basadas en los niveles de servicio de los modos de transporte. Se evidencia que habría una significativa sensibilidad de las preferencias de compra de automóvil a los costos de estacionamiento y aumentos de los tiempos y costos de viaje en autobús que podrían impulsar en el corto plazo decisiones de compra de automóvil y motocicleta para realizar viajes al trabajo, agravando las actuales condiciones de congestión del tránsito urbano en horas pico.

Journeys to work in Córdoba city: study on modal choice and the preference to the possession of vehicles

ABSTRACT

In recent years there has been a huge increase in private vehicle ownership (cars and motorcycles) in Argentina and particularly in Córdoba, generating significant increases in urban traffic levels. This study uses a stated preference survey to estimate a nested logit model integrating mode choice decisions for commuting trips and the preferences for car and motorcycle buying as a response to changes in transport modes level of services in an intermediate city like Córdoba (Argentina). The results confirm the hypothesis of interdependence between urban travel mode choice for commuting based on transport modes service levels and the car and motorcycle ownership decision. Also, there would be significant sensitivity of car buying preferences to parking costs and also worse bus travel times and higher fares could encourage in the short run car and motorcycle buying decisions for commuting, aggravating the current traffic congestion conditions at rush hours.

Palabras Claves: Demanda de transporte; Preferencias declaradas; Logit anidado; Elección de modo; Tenencia de vehículo.

Palavras-chave: Demanda de transportes; Preferência declarada; Logit aninhado; Escolha do modo; Propriedade de veículos.

Keywords: Travel demand; Stated preferences; Nested logit; Mode choice; Vehicle ownership.

1. INTRODUCCIÓN

La estimación de la demanda juega un rol significativo en el diseño e implementación de políticas económicas en el sector transporte. El uso de modelos de elección discreta en la

¹ Departamento de Economía y Finanzas, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina / Unidad Académica Caleta Olivia, Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Argentina – jsartori@eco.unc.edu.ar

² Departamento de Economía y Finanzas, Facultad de Ciencias Económicas y Departamento de Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina – cwrobledo@agro.uncor.edu



planificación urbana es una de las bases fundamentales para realizar un correcto diagnóstico de la situación y para generar predicciones que permitan conocer las consecuencias de diferentes medidas de política (entre ellas: medidas de regulación o desregulación, implementación de impuestos, diferentes formas de establecer tarifas para los modos de transporte público urbano, restricciones de entrada al mercado, el desarrollo de infraestructura de transporte y servicios, gestión del tránsito, etc.).

La actual preocupación mundial sobre el planeamiento de transporte urbano está basada en el alto nivel de congestión automovilística y la contaminación del aire, como consecuencia de la tenencia y uso de vehículos privados (autos y motocicletas). El planeamiento del transporte urbano intenta brindar una mejor movilidad a los habitantes, disminuyendo el uso de vehículos privados y fomentando la utilización de transporte público.

La elección del modo de transporte para realizar viajes al trabajo ha sido analizada en numerosos estudios de diferentes ciudades del mundo (por ejemplo Hensher, 2001; Hensher y Reyes, 2000; Rose y Hensher, 2004; Ben-Akiva y Lerman, 1985; Brownstone y Small, 1989). Mediante la aplicación de modelos de elección discreta, tales como el modelo logit multinomial y otros modelos de valor extremo generalizado, o modelos probit, entre otros, es posible estimar la probabilidad de elección de diferentes modos de transporte en función de las variables que forman parte del proceso de decisión del consumidor.

Las variables explicativas en la estimación de demanda pueden clasificarse en dos grupos: por una parte, variables representativas de las características sociodemográficas de los consumidores y por otra, variables asociadas con el viaje realizado o a realizar que están relacionadas con las características técnicas de los modos de transporte considerados. Entre las primeras, se pueden mencionar: género, edad, nivel educativo, categoría ocupacional. Las variables del segundo grupo, también llamadas variables de nivel de servicio, son: costos de transporte, tiempo de viaje, tiempo de espera, tiempos de acceso y distancia hasta la parada del transporte público, costos de estacionamiento (para modos de transporte privados) y características específicas de calidad de los modos de transporte. De estos modelos pueden obtenerse además, las tasas marginales de sustitución entre variables (o atributos que caracterizan los modos de transporte), siendo el valor de los ahorros de tiempo de viaje y de tiempo de espera los más utilizados para diseñar políticas de transporte.

En el contexto de la evaluación social de proyectos de inversión, estos valores de los ahorros de tiempo forman parte de los beneficios sociales del proyecto de una mejora en el sistema de transporte urbano.

A partir de la demanda estimada de los diferentes modos de transporte puede pronosticarse la participación en el mercado de cada uno de ellos.

Asimismo, podrán predecirse los cambios en el uso de diferentes modos de transporte como resultado de políticas de transporte específicas, como por ejemplo la fijación de tarifas en los modos de transporte público, inversiones en infraestructura de transporte que pueden disminuir los tiempos de viaje, implementación de restricciones o prioridades de tránsito en diferentes rutas de la ciudad e incluso el establecimiento de tasas de congestión urbana (Newbery, 1994; Mohring, 1999; Prud'homme y Bocarejo, 2005; Mackie, 2005).

Por consiguiente, en el corto plazo, cambios en las variables que explican la decisión de usar un modo determinado de transporte disponible generarán cambios en la probabilidad de uso de diferentes modos de transporte disponibles.

Además, cambios en variables explicativas de la demanda de servicios de transporte público pueden generar incentivos para que los ciudadanos incrementen o disminuyan el número de



vehículos privados (automóviles y motocicletas) que poseen. Por lo tanto, cambios en las condiciones de los servicios de transporte determinan la decisión de tenencia de vehículos privados. En consecuencia, las variables de políticas de transporte urbano deberían considerarse en el análisis del impacto que provocarán en la tenencia de vehículos privados y en la decisión de elección de modo de transporte para viajar por diferentes motivos en general y para ir al trabajo en particular. Esto implica, la existencia de una relación simultánea entre la decisión de tenencia de vehículos privados y su uso para realizar ciertos tipos de viajes (por ejemplo, viajes al trabajo).

Así, por ejemplo, un incremento en las tarifas relativas del transporte público en relación al costo de viaje en automóvil particular o un incremento en los tiempos de viaje (y/o tiempos de espera) en los modos de transporte público, considerando tiempos de viaje en automóvil constantes, pueden generar en el corto plazo un aumento en el uso de automóviles, considerando solo aquellas personas que poseen autos. Sin embargo, en un plazo más largo, esta política puede contribuir a la decisión de comprar el primer auto o motocicleta en un hogar que no lo posee, o la decisión de incrementar el número de autos o motocicletas propias, causando un impacto en la probabilidad de uso de los modos de transporte privado que será difícil de contrarrestar en el futuro. El pronóstico del uso de los modos de transporte urbano ante cambios en políticas de transporte estará sesgado al no considerar el proceso de decisión de tenencia de vehículos privados relacionado con los cambios en las condiciones de movilidad urbana derivadas de las políticas implementadas.

Esta investigación resulta de importancia práctica en términos del desarrollo metodológico y la aplicación empírica, con la intención de proporcionar conocimientos para la aplicación de políticas de transporte público en la ciudad de Córdoba, una de las principales ciudades intermedias de Argentina, donde el problema de planeamiento de sistemas de transporte público (y en especial ómnibus) ha sido considerado como uno de los principales problemas sociales por resolver (Marconetti, 2008).

En los últimos años ha existido un notable incremento en el número de vehículos privados en Argentina, tanto de autos como de motocicletas. En la ciudad de Córdoba, las tarifas de los servicios de transporte por autobús, taxis y remis, se han incrementado sin mejorar sustancialmente la calidad de los servicios, particularmente los autobuses. Además, desde hace unos años existen buenas condiciones de financiamiento para la compra de automóviles y motocicletas, lo que reforzó el aumento en la posesión y uso de estos vehículos. Todo esto está contribuyendo a incrementar los niveles de congestión del tránsito urbano y el uso de un sistema de transporte público ineficiente. La aplicación de políticas miopes, que no consideren los efectos que causan las variables que influyen en el uso de los servicios de transporte público y en la decisión de tenencia de vehículo privado puede causar un empeoramiento en las condiciones de movilidad urbana. Un reflejo de este argumento se evidencia en la ciudad de Córdoba, que ha experimentado una descentralización comercial y administrativa (Jordan y Simioni, 1998), donde una red de autobuses con recorridos que atraviesan el centro urbano no satisface totalmente los deseos de viaje de los habitantes en relación con la minimización de los tiempos de viaje y de los trasbordos, produciendo altos costos por pasajero que se reflejan también en tarifas más altas que las de otras ciudades argentinas y que disminuye la posibilidad de promover su uso y de esta manera contribuir a la descongestión del tránsito urbano³ (Sartori, 2010a). Además, el aumento de las tarifas de los servicios de taxi podría fomentar la compra y el uso de vehículos privados. La pérdida de pasajeros de transporte público, taxis y ómnibus, produce un incremento en los costos por pasajero transportado y de las tarifas generándose así un círculo vicioso. Un aumento en las tarifas produce una caída en la cantidad de

³ A partir de las encuestas de origen y destino realizadas en la ciudad de Córdoba en 2000 y 2009, las líneas de deseo de viajes de los habitantes muestran una paulatina descentralización, a pesar de que la zona central de la ciudad continúa siendo la mayor zona de atracción y generación de viajes.



pasajeros, que con la misma oferta de servicios, provoca nuevas presiones para aumentos de tarifas y un incremento en el uso de vehículos privados.

Resulta esencial, por lo tanto, desarrollar investigaciones sobre la estimación de demanda urbana de viajes y su pronóstico en ciudades intermedias como Córdoba, teniendo en cuenta las dos decisiones descriptas: la decisión de tenencia de vehículo privado (automóvil o motocicleta) y el uso de modo de transporte, en este caso para los desplazamientos al trabajo. Es así que, la motivación de esta investigación ha sido comprobar la hipótesis de existencia de una significativa interdependencia entre la elección del modo de transporte y las decisiones del conjunto de elección de modos de transporte disponibles que enfrenta el consumidor como consecuencia de las medidas de política de transporte. Además, es importante reconocer que el modelo aplicado es parcial ya que la decisión acerca de la propiedad de automóviles y motocicletas se relaciona únicamente con viajes al trabajo y los vehículos adquiridos con el propósito de realizar viajes al trabajo es probable que se utilicen para otros motivos de viaje, causando congestión adicional.

En este trabajo, se estima la demanda de viajes al trabajo con datos obtenidos de una encuesta de preferencias declaradas considerando la elección del modo de transporte y la preferencia por la tenencia de vehículo particular. La encuesta se realizó a una muestra de trabajadores de la ciudad de Córdoba (Argentina), ciudad que cuenta con 1.329.604 habitantes según el Censo Nacional de Población del año 2010. La encuesta presenta una primera situación o escenario de elección de modo de transporte y luego pregunta sobre la preferencia de compra de vehículo privado considerando los niveles actuales de propiedad de vehículo, basándose en el escenario de elección de modo de transporte presentado inicialmente. De esta manera, puede comprobarse si los cambios de nivel de servicio de los modos de transporte tienen un efecto sobre las preferencias de tenencia y uso de vehículos para realizar viajes al trabajo.

El artículo está organizado de la siguiente manera. La sección 2 presenta una revisión literaria de los modelos relacionados con el objeto de investigación. A continuación, la sección 3 discute el marco teórico subyacente en las estimaciones econométricas realizadas. La sección 4 presenta las teorías fundamentales de diseño de experimentos eficientes y la metodología utilizada en el diseño experimental de elección de modo de transporte y de preferencia por tenencia de vehículo privado. Posteriormente en la sección 5, se presenta la estimación del modelo logit anidado especificado junto con un análisis de escenarios de políticas de transporte urbano y se estiman las elasticidades de la demanda relacionadas con los cambios de niveles de servicio asociados a los escenarios de política propuestos. Por último, en la sección 6 se realizan algunos comentarios finales.

2. REVISIÓN LITERARIA

Diferentes enfoques desagregados han sido desarrollados para modelar la tenencia de automóviles y la estimación y pronóstico de su uso, pero pocos estudios han incorporado explícitamente modelos de tenencia de motocicletas considerando directamente los niveles de servicio de los modos de transporte como variables explicativas, o han estimado conjuntamente modelos de comportamiento relacionados con la tenencia de automóviles y elección de modo. La importancia de este tipo de estudio al considerar la simultaneidad de las decisiones de tenencia de vehículo en el hogar y la elección de modo de transporte por parte de los trabajadores ha sido destacada por Ben-Akiva y Lerman (1974), Train (1980), y más recientemente por Srinivasan y Walker (2009) como una forma de interrelacionar estas decisiones de modo de "formular y analizar políticas destinadas a lograr la sostenibilidad en términos de capacidad de transporte, consumo de combustible y efectos sobre el ambiente".



En particular, Ben-Akiva y Lerman (1974) presentaron uno de los primeros estudios modelando en forma conjunta la tenencia de automóvil y elección de modo de viaje al trabajo, utilizando un modelo logit multinomial con datos de preferencias reveladas, estimando la probabilidad conjunta del hogar de seleccionar un nivel de tenencia de automóvil y un modo de transporte determinado para que el sostén de la familia asista al trabajo, con un conjunto de alternativas que consistió en el producto cruzado de todos los modos y los posibles niveles de propiedad de automóviles, utilizando los tiempos de viaje al trabajo (dentro y fuera del vehículo) como variables explicativas representativas de los niveles de servicio.

Por otra parte, existen otras investigaciones relacionadas con la elección de modo de transporte y la tenencia de vehículo privado con incorporación de niveles de servicio de modos de transporte público y privado como variables explicativas. Algunos modelos de tenencia de automóviles relacionados de algún modo con el objeto de investigación de este estudio fueron analizados por De Jong, et al. (2004), y serán mencionados brevemente a continuación, junto con otros estudios que muestran nueva evidencia.

Los modelos de utilidad indirecta de tenencia y uso de automóviles explican la tenencia y uso de vehículo privado en el hogar en un marco microeconómico integrado que considera la relación existente entre las funciones indirectas de utilidad para diferentes estados de tenencia de vehículo privado y las funciones de demanda mediante el uso de la identidad de Roy (Train, 1986; De Jong, 1990). Estos modelos han incluido como variables explicativas, por ejemplo, los costos fijos y variables de la tenencia y uso de automóvil, los niveles de ingreso, el tamaño del hogar, la edad, el género y la ocupación del jefe del hogar.

Otro enfoque hace referencia a modelos estáticos desagregados de tenencia, los cuales son modelos de elección discreta que consideran la cantidad de automóviles que posee un hogar, utilizan datos de preferencias reveladas y consideran como variables explicativas las características socioeconómicas, ubicación residencial, tipo de residencia y algunas variables relacionadas con la política de transporte como son los costos de estacionamiento y los costos variables de uso de automóvil (Bhat y Pulugurta, 1998; Bhat, Sen y Eluru, 2009; Whelan, 2001 y 2007). Se debe prestar especial atención a Train (1980), quien estimó un modelo secuencial integrando la elección de modo de transporte del trabajador con la elección observada en el hogar de tenencia de automóviles, usando datos de preferencias reveladas a partir de una muestra de trabajadores del área de la Bahía de San Francisco en 1975. Esta estimación estructurada le permitió ajustar un modelo que considera funciones de utilidad para los niveles conjuntos de tenencia de automóviles y de modo de transporte elegido para viajar al trabajo, compuesto por una parte que solo depende de los atributos del nivel de tenencia de automóvil, otra parte observada que depende tanto de los atributos del nivel de tenencia de automóviles como del modo de trabajo elegido, y un componente no observado. Es importante señalar que este enfoque ha considerado explícitamente la interacción entre las decisiones específicas y determinadas variables explicativas en cada modelo de decisión, que incluyen variables de nivel de servicio de los modos de transporte y características sociodemográficas.

Los modelos estáticos desagregados de elección del tipo de automóvil consideran la elección del tipo de vehículo familiar, dada la tenencia de vehículo, incorporando la decisión del número de vehículos y su uso junto con la elección del tipo de vehículo, y se utilizan para predecir el tamaño y la composición de la flota de vehículos, y posiblemente también, su uso y las emisiones de contaminantes. Algunos modelos emplean datos de preferencias reveladas, datos de preferencias declaradas o combinan ambas fuentes de datos. Estos modelos consideran como variables explicativas variables sociodemográficas y atributos del automóvil. Cabe señalar, que los datos de preferencias reveladas son cruciales si se pretenden obtener elecciones realistas y los datos de preferencias declaradas son importantes para obtener información sobre atributos no disponibles en el mercado, pero



modelos puros de datos de preferencias declaradas pueden arrojar pronósticos no realistas; justificándose así el uso de modelos estimados con datos conjuntos de preferencias reveladas y declaradas (Train, 1986; Page, et al 2000; Brownstone, Bunch y Train, 2000).

Con excepción de Train (1980), todos los enfoques anteriores no consideran explícitamente la relación directa entre la elección de modo de transporte para diferentes motivos de viaje y los niveles de servicio, relacionando generalmente la tenencia de automóviles y el uso, con condiciones sociodemográficas, variables socioeconómicas y en algunos casos variables de nivel de servicio. En estos estudios se han usado datos de preferencias reveladas y se han descrito los compromisos que realizan los hogares en condiciones económicas reales.

Recientemente, se han realizado investigaciones que incorporan datos de preferencias declaradas e intentan mostrar las preferencias por la tenencia de vehículo cambiando niveles de atributos de los modos de transporte incluso más allá de los niveles existentes al momento de realización de los estudios. Kumar y Krishna Rao (2006) aplican un modelo de escala de calificación discreta que indica la preferencia de elección con las respuestas de los individuos a diferentes opciones de tenencia de vehículo privado para viajes al trabajo y recreativos. El diseño experimental consideró como atributos los ingresos proyectados del hogar, el pago de préstamo para adquirir automóvil y el costo variable de uso del automóvil. También consideró variables relacionadas con los viajes realizados en sí mismos: el tiempo de viaje, gastos de viaje, los ingresos familiares, nivel de incomodidad, el tiempo de espera y el número de trasbordos. Otras variables socioeconómicas consideradas en la estimación fueron el tamaño de la familia, tipo de tenencia de vivienda, superficie construida y el número de titulares de licencias de conducir en el hogar. Los resultados mostraron que la tenencia de automóviles se explica por un índice de precios de los automóviles calculado con el costo total del automóvil utilizado en el experimento de elección de preferencias declaradas y sus costos de mantenimiento, el ingreso familiar, tamaño de la familia y la tipología de tenencia de vivienda.

Otra interesante aproximación metodológica es la que presentan Van Acker y Witlox (2010), quienes proponen un modelo de ecuaciones estructurales para identificar la relación entre la tenencia de automóvil en el hogar y la estructura urbana, en relación con el uso del automóvil en los hogares. Sus resultados sugieren que "como políticas de planificación urbana pueden implementarse medidas de aumento de la densidad y la diversidad urbanas con el objeto de desalentar la posesión de automóvil... y para influir en el comportamiento de viaje en automóvil". En este sentido, sería válido considerar las medidas de densidad y diversidad en conjunto en modelos de elección conjunta de tenencia y uso de vehículo particular como el que aquí se presenta. Sin embargo, nuestro principal objetivo en esta etapa de investigación se relaciona con la estimación de la relación entre la preferencia por la tenencia de automóvil o motocicleta y los niveles de servicio de los modos de transporte. Este modelo es capaz de mejorar la capacidad de pronóstico asociada con las políticas de transporte directamente relacionadas con los atributos que caracterizan a los modos de transporte, como por ejemplo, mejoras en el tiempo de viaje del transporte público mediante la implementación de carriles exclusivos para autobuses, cambios en las tarifas de autobús y de taxi o en las tarifas de estacionamiento, entre otros.

Siguiendo el mismo objetivo, Dissanayake y Morikawa (2010) estimaron un modelo logit anidado integrando las decisiones de tenencia de vehículo particular y elección de modo de transporte, considerando un modelo combinado de preferencias reveladas y declaradas. El modelo se aplicó a la región metropolitana de Bangkok y reconoció la relación existente entre la tenencia de vehículo privado (automóviles y motocicletas tratadas por separado), elección de modo y de uso de "auto compartido" por parte de los miembros del hogar, mediante la estimación de dos modelos logit anidados, uno con datos de preferencias reveladas y otro combinando ambas fuentes de datos (preferencias reveladas y declaradas) para viajes al trabajo. Sus resultados confirmaron que el uso de datos de preferencias



reveladas y declaradas en conjunto resulta una técnica eficaz para investigar el comportamiento de viaje y el pronóstico de uso de nuevos servicios de transporte, a pesar del hecho de que el documento no presente pronósticos.

El presente trabajo pretende incorporar un conjunto de variables de nivel de servicio en un marco de preferencias declaradas, ya que el uso del enfoque de preferencias reveladas podría encubrir problemas de agregación de datos y pequeña variabilidad en las variables de nivel de servicio de los modos de transporte. Además, a diferencia de estudios anteriores, esta investigación considera explícitamente las preferencias por tenencia de motocicleta, vehículo que ha experimentado altas tasas de venta en la ciudad de Córdoba.

Además, debe reconocerse que la investigación expuesta en este artículo es parcial, dado que considera solo la reacción de las preferencias de trabajadores sobre la tenencia de automóvil o motocicleta en relación con los cambios en los atributos de los modos de transporte para el viaje al trabajo y podría ser ampliado, teniendo en cuenta un conjunto más extenso de motivos de viaje, elección de destino y otras opciones como lugar de residencia, por ejemplo.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Las encuestas de preferencias declaradas y los modelos de elección discreta basados en la teoría de la elección del consumidor son un instrumento fundamental para el análisis de la demanda. El punto fundamental que aparta este paradigma de la teoría tradicional está relacionado con la idea de que la utilidad se deriva de las propiedades o características de los bienes en vez de hacerlo de los bienes por sí mismos. Este es el llamado “paradigma de la elección” que está subyacente en el análisis de elección discreta que une la función de utilidad con los bienes y sus características objetivas (Louviere, Hensher y Swait, 2000).

El modelo económico teórico postulado para realizar estimaciones y pronósticos se basa en la teoría de la utilidad aleatoria, que supone que un individuo actuando racionalmente puede comparar alternativas y seleccionar aquella que le otorga el máximo nivel de utilidad o satisfacción, es decir, el individuo elige la alternativa que maximiza su utilidad cada vez que se confronta a un ejercicio de elección, dados los atributos de los bienes considerados (modos de transporte, por ejemplo) y sus características socioeconómicas. En esta teoría se usa la palabra “aleatoria” porque en la modelación de las preferencias a través de funciones de utilidad, el analista no posee información completa relacionada con los argumentos del proceso de decisión, de modo que una parte de la función de utilidad modelada es mensurable y otra parte no es directamente mensurable sino aleatoria.

Los próximos dos apartados presentan al análisis teórico relacionado con el modelo especificado para estimar simultáneamente la elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo y las preferencias por tenencia de vehículo privado, aplicado a la ciudad de Córdoba (Argentina).

3.1. El modelo logit multinomial

Numerosas aplicaciones en el campo del marketing, el transporte y la economía ambiental utilizan la especificación del modelo logit multinomial simple, que implica el supuesto de independencia de las alternativas irrelevantes, la parte no observable de las utilidades se distribuyen de manera idéntica e independiente, no existe correlación serial en el modelo, posee factores de escala constantes para todas las alternativas que se normalizan arbitrariamente igualándolos al valor unitario, no existe heterogeneidad no observada de las preferencias y los parámetros a estimar son fijos, no aleatorios.



El modelo logit multinomial puede expresarse como:

$$P_i = \frac{e^{\lambda U_i}}{\sum_{j=1}^n e^{\lambda U_j}}$$

Donde:

P_i es la probabilidad de elección de la alternativa i -ésima;

$e^{\lambda U_i}$ es la función exponencial.

U_i es la función de utilidad de la alternativa i -ésima, que puede expresarse como:

$U_i = V_i + \varepsilon_i$, en la cual V_i es la parte determinística de la función de utilidad que usualmente se supone como una función lineal de variables explicativas de la demanda y ε_i es un término de error aleatorio relacionado con los efectos no observables.

λ es el factor de escala o parámetro de precisión, que es una función inversa de la desviación estándar de los efectos no observables o errores del modelo ε_i . En este modelo,

λ se supone igual a la unidad.

En el caso analizado aquí, la decisión de modo de transporte para viajar al trabajo considera cinco alternativas de transporte más una opción de “no-compra” o “no elección”, a saber: automóvil, motocicleta, taxi, autobús, autobús diferencial y la opción de no elección.

Los servicios de autobús diferencial son servicios de autobús de mayor calidad, con asientos más confortables, aire acondicionado, líneas con recorridos más directos al centro de la ciudad y con una tarifa que es el doble de la tarifa del autobús común. La opción de “no elección” incorpora al modelo la posibilidad de elegir otro modo de transporte diferente a los primeros cinco presentados, por ejemplo: realizar el viaje caminando o en bicicleta. Numerosos estudios han considerado solo estructuras de decisión forzadas, por ejemplo, sin incorporar la opción de “no elección” en el proceso de decisión (Hensher, 1994, Fowkes y Wardman, 1988). Sin embargo, otros estudios reconocen la necesidad de proponer a los entrevistados la posibilidad de “no elección” (Dhar, 1997; Dhar y Simonson, 2003; Hensher, Rose y Greene, 2005). Una especificación del modelo que no incluya la opción de “no elección” restringe las posibilidades de elección y los resultados en términos de la bondad de las predicciones del modelo. Por esta razón, en este estudio se ha incluido en el experimento de elección la opción “Otro modo de transporte” como alternativa de “no elección”.

El modelo logit multinomial permite considerar diferentes conjuntos de elección para cada individuo entrevistado de manera que se pueda estimar un modelo como una función de los niveles de servicio de las alternativas y de las características sociodemográficas de la población. Este modelo de elección de modo de transporte no permite estimar las preferencias por la tenencia de vehículo particular (automóvil o motocicleta) y solo admite estimar y pronosticar el modo de transporte utilizado dada la disponibilidad de servicios, es decir, el conjunto de elección que cada individuo confronta.

Sin embargo, resulta importante considerar que en las condiciones actuales de Argentina resulta muy fácil comprar una motocicleta o un auto, nuevo o usado, ya sea en efectivo o mediante créditos. Según C3T (2011), durante los próximos años la tendencia a la fuerte incorporación de automóviles continuará profundizándose en Argentina, incrementando los problemas de congestión y accidentología vial del presente. Esta afirmación se basa en el crecimiento de la tasa de motorización evidenciada en el periodo 1998-2009 que fue del



22,43% comparado con el crecimiento del periodo 2004-2009 en el cual fue del 30,31%. Asimismo, la evolución de la venta de motocicletas en Argentina ha evidenciado un continuo aumento en el periodo 2004-2011, con una tasa de crecimiento promedio anual del 58% y una cifra récord de ventas en 2011 de 716.161 motocicletas⁴.

De tal manera, mediante el empeoramiento de las condiciones de las alternativas de transporte público pueden generarse incentivos para la compra de un automóvil o una motocicleta, en especial para aquellos que no poseen vehículo motorizado en el hogar. Por esta razón, resulta esencial considerar en la modelación el conjunto completo de alternativas de elección, uniendo las diferentes categorías de disponibilidad de alternativas y las preferencias por la tenencia de vehículo privado. Para predecir esta relación simultánea, se realizaron encuestas web de preferencias declaradas, complementadas por encuestas en el hogar asistidas por computadora en el caso de que los encuestados no poseyeran conexión a internet. El experimento de elección de preferencias declaradas se diseñó específicamente para considerar la disponibilidad de alternativas de transporte que cada individuo enfrenta y sus preferencias por la tenencia de automóvil o motocicleta como una reacción al cambio en las condiciones de nivel de servicio de los modos de transporte disponibles. Este efecto simultáneo puede especificarse utilizando un modelo logit anidado o un modelo logit multinomial multidimensional, considerando las diferentes categorías de conjuntos de elección y las alternativas de elección de modo de transporte (Ben Akiva y Lerman, 1985). La próxima sección presenta la formulación del modelo aplicado.

3.2. Un modelo logit anidado para estimar la elección de modo de transporte para viajar al trabajo y las preferencias por tenencia de vehículo privado

Para estimar simultáneamente la elección de modo de transporte para viajar al trabajo y la preferencia por la tenencia de vehículo privado (automóvil o motocicleta), resulta fundamental especificar claramente los conjuntos de elección que el trabajador enfrenta a diario para realizar su elección de viaje al trabajo. Por lo tanto, podemos identificar básicamente cuatro tipos de personas relacionadas con cuatro categorías de conjuntos de elección. Existe un primer tipo de persona que posee automóvil y motocicleta en su hogar y que los puede utilizar para viajar a su trabajo, es decir, los dos vehículos están disponibles. Existe un segundo tipo de persona que posee motocicleta pero no posee automóvil en su hogar⁵. El tercer tipo de persona posee automóvil pero no motocicleta. Finalmente, el cuarto tipo de consumidor no posee automóvil ni motocicleta en su hogar. Para aquellas personas sin disponibilidad de vehículo privado podría existir la posibilidad de que elija comprar un auto o una motocicleta como una reacción a los niveles de servicio de los diferentes modos de transporte existentes. Resulta importante notar aquí que en este estudio se han considerado todos los modos de transporte público como disponibles para todos los entrevistados, dado que el objeto del estudio es realizar un análisis de los efectos que provocarían mejoras en los servicios de transporte público urbano.

Por lo tanto, se ha especificado un modelo multidimensional de tenencia de vehículo privado y elección de modo de transporte para viajar al trabajo. Considerando un diagrama de árbol de elección, el nivel más alto del árbol representa la disponibilidad de alternativas de elección relacionadas con la situación de tenencia de vehículo privado (categorías) y el nivel más bajo representa las alternativas elementales de cada categoría (modos de transporte disponibles para cada nido). En este caso particular, se especificaron 24 nidos ficticios de tenencia de vehículo privado (Ortúzar y Willumsen, 1994), con parámetros de escala

⁴ Según información de la Asociación de Concesionarios de Automotores de la República Argentina (Acara).

⁵ Este también es el caso de personas que específicamente declararon no poseer disponibilidad de uso de automóvil dado que, aunque poseían automóvil en el hogar, el automóvil siempre era utilizado por otra persona del hogar y no existía oportunidad de compartir su uso para viajes al trabajo.



genéricos para las seis alternativas modales relacionadas con cada una de las categorías de tenencia de vehículo privado.

La Figura 1 presenta el diagrama de árbol, donde las alternativas elementales son: automóvil, motocicleta, taxi, autobús, autobús diferencial y otro modo (opción de no elección). Entonces, tenemos seis modos de transporte que pueden elegirse en cada una de las cuatro categorías de tenencia actual de vehículo privado. Esta combinación determina la existencia de 24 alternativas elementales, seis por cada categoría de disponibilidad de vehículo privado. La primera categoría se refiere a un individuo que posee automóvil y motocicleta, quien también posee los seis modos de transporte disponibles para su elección de modo de viaje. La segunda categoría se refiere a un individuo que posee actualmente motocicleta pero no posee automóvil, modo que se considera como potencialmente disponible y podría ser elegido si el entrevistado declara sus preferencias por la compra de automóvil en el escenario de preferencias declaradas. La tercera categoría considera a un individuo que posee automóvil pero no posee motocicleta, con la motocicleta potencialmente disponible si es que prefiere comprarla. Finalmente, la cuarta categoría se refiere a un individuo que no posee automóvil ni motocicleta y que posee en la actualidad solo cuatro modos de transporte disponibles (taxi, autobús, autobús diferencial y otro modo) y dos modos potencialmente disponibles (automóvil y motocicleta). Entonces, el primer nivel del árbol jerárquico del árbol de elección representa la elección de preferencia revelada del hogar por la tenencia de vehículo privado que actualmente está disponible para que el trabajador realice sus viajes habituales al trabajo.

Siguiendo a Ben-Akiva y Lerman (1985) puede especificarse un modelo de elección multidimensional como un modelo logit anidado para la estimación de elección de modo de transporte y las preferencias por tenencia de vehículo para viajar al trabajo, considerando diferentes tipos de personas definidos por su disponibilidad actual de automóvil y/o motocicleta.

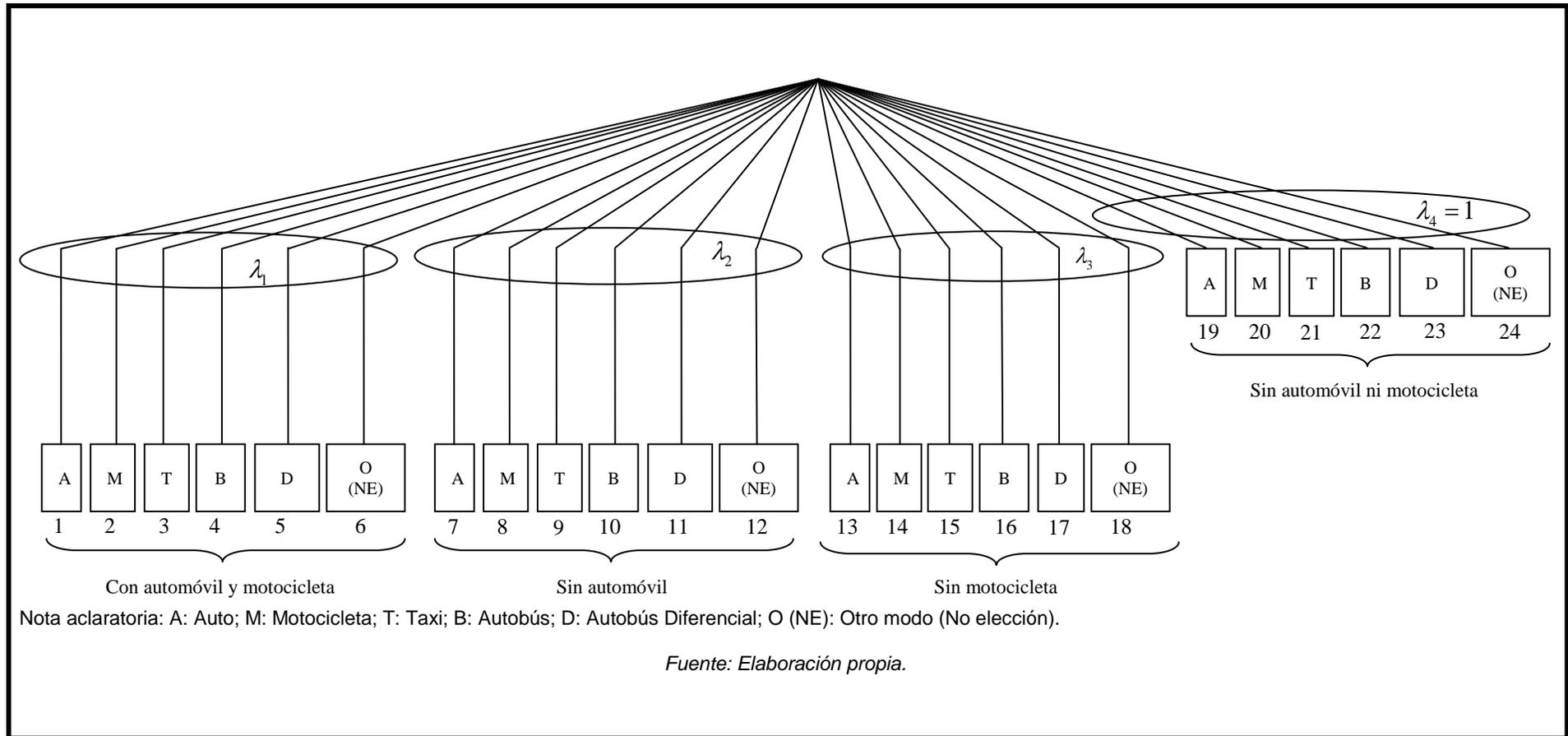
El modelo logit anidado reconoce la posibilidad de existencia de diferentes varianzas entre las alternativas y alguna correlación entre subconjuntos de alternativas. Esto es equivalente a relajar el supuesto de independencia de las alternativas irrelevantes del modelo logit multinomial.

El modelo especificado supone que cada tipo de persona (según categoría de tenencia de vehículo privado) posee todas las alternativas elementales disponibles, al menos potencialmente, como por ejemplo: si una persona no posee automóvil disponible en la actualidad podrá estar dispuesto a comprar un automóvil en un futuro cercano (nuevo o usado) como respuesta a los niveles de servicio percibidos de los modos de transporte disponibles.

Considerando este modelo que combina la tenencia de vehículo y la elección de modo de transporte, con cuatro categorías de conjuntos de elección relacionados con la tenencia de vehículo privado y utilizando los desarrollos para la modelación con datos de preferencias reveladas y declaradas, puede estimarse un modelo en el que se incorporen como variables explicativas solo las variables de nivel de servicio relevadas a partir de un experimento de preferencias declaradas, sin considerar variables adicionales socioeconómicas explicativas de la tenencia de vehículo particular. En este caso, el conjunto de elección del individuo estará acotado a los seis modos de transporte existentes, dada su disponibilidad de vehículo particular. De esta manera, pueden estimarse las preferencias de compra de vehículo para utilizarlo para viajar al trabajo a medida que cambian las variables independientes que forman parte de las funciones de utilidad de cada uno de los modos de transporte elegidos por el individuo.



Figura 1. Diagrama de árbol para la estimación conjunta de las preferencias por tenencia de vehículo y la elección de modo de transporte para viajar al trabajo - Modelo logit anidado





Considerando este modelo que combina la tenencia de vehículo y la elección de modo de transporte, con cuatro categorías de conjuntos de elección relacionados a la tenencia de vehículo privado y utilizando los desarrollos para la modelación con datos de preferencias reveladas y declaradas, puede estimarse un modelo en el que se incorporen como variables explicativas solo las variables de nivel de servicio relevadas a partir de un experimento de preferencias declaradas, sin considerar variables adicionales socioeconómicas explicativas de la tenencia de vehículo particular. En este caso, el conjunto de elección del individuo estará acotado a los seis modos de transporte existentes, dada su disponibilidad de vehículo particular. De esta manera, pueden estimarse las preferencias de compra de vehículo para utilizarlo para viajar al trabajo a medida que cambian las variables independientes que forman parte de las funciones de utilidad de cada uno de los modos de transporte elegidos por el individuo.

Este modelo, en el cual el conjunto de elección del entrevistado está compuesto por las seis alternativas modales elementales, requiere adicionalmente que algún $\lambda_m = 1$ para lograr su identificación y en esta oportunidad hemos supuesto que $\lambda_4 = 1$. Este modelo es equivalente al modelo que considera a los diferentes nidos de tenencia como “grupos” y que puede estimarse directamente con el software Biogeme. Aquí las probabilidades de elección de modo de transporte para el nido de tenencia i -ésimo con parámetro de escala normalizado a la unidad (igualado al valor unitario) vendrá dado por:

$$P_n(m / a_i) = \frac{e^{V_m}}{\sum_{m'=1}^6 e^{V_{m'}}$$

Y para las alternativas modales correspondientes al nido de tenencia j -ésimo con parámetro de escala no normalizado (λ_m), vendrá dado por:

$$P_n(m / a_j) = \frac{e^{V_m \cdot \lambda_m}}{\sum_{m'=1}^6 e^{V_{m'} \cdot \lambda_{m'}}$$

La probabilidad de elección de un modo de transporte determinado será la suma de las probabilidades condicionadas a las diferentes categorías de tenencia de ese modo de transporte. Las preferencias por la compra de automóviles y motocicletas vendrá dada por los pronósticos de las probabilidades $P(7/2)$ que es la probabilidad de elección del modo de transporte 7 (automóvil) dada la categoría de tenencia 2, $P(14/3)$ que es la probabilidad de elección del modo de transporte 14 (motocicleta) dada la categoría de tenencia 3, $P(19/4)$ y $P(20/4)$ que corresponden a las probabilidades de elección de automóvil y motocicleta respectivamente, dada la categoría de tenencia 4.

Por otra parte, si se supone o estima que todos los $\lambda_m = 1$, el modelo logit anidado multidimensional colapsa al modelo logit multinomial multidimensional, aunque en este caso no debe olvidarse que el conjunto de elección de cada individuo estará acotado a las alternativas modales incluidas en la categoría de tenencia a la que pertenece.

4. DISEÑO DEL EXPERIMENTO DE ELECCIÓN

La experiencia internacional en el desarrollo de experimentos de elección de modo de transporte ha evolucionado desde la década de 1980, habiendo comenzado con diseños de



encuestas que permitían estimar modelos logit multinomiales con dos o más alternativas de elección y en general, pocos escenarios de elección para evitar el efecto fatiga de los entrevistados (Fowkes y Wardman, 1988; Hensher, Barnard y Truong, 1988; Bradley y Daly, 1994)⁶. Los primeros estudios utilizaron experimentos ortogonales, aprovechando la propiedad de ausencia de correlación entre las variables independientes (atributos), una característica que se juzgaba como un requerimiento para asegurar la bondad del diseño de la encuesta y que implica la ausencia de multicolinealidad en el modelo de demanda estimado a partir de las respuestas relevadas⁷ (Bates, 1988; Fowkes y Wardman, 1988; Rose y Bliemer, 2004). En los inicios, la administración del cuestionario se realizaba con tarjetas, con el fin de presentar cada escenario de manera independiente. Hoy en día, las encuestas de preferencias declaradas pueden realizarse vía internet o por medio de entrevistas asistidas con computadora portátil en donde los entrevistados declaran sus preferencias de manera independiente en cada escenario de elección que se presenta individualmente en la pantalla de la computadora.

También existe una tendencia a diseñar experimentos con un amplio número de escenarios de elección como consecuencia de considerar un mayor número de atributos como variables independientes en la especificación de demanda (Rose y Hensher, 2004).

Más aún, los denominados “diseños eficientes” producen errores mínimos alrededor de los parámetros a estimar, suponiendo valores previos de esos parámetros. La eficiencia de estos diseños viene dada por la minimización del error de estimación alrededor de los parámetros a estimar, suponiendo valores previos para ellos y considerando una especificación del modelo de elección discreta particular, usualmente un modelo logit multinomial. Al maximizar la función de máxima verosimilitud para una muestra determinada, es posible obtener los estimadores máximo verosímiles de un modelo de elección basado en un diseño particular. El procedimiento utiliza la matriz hessiana de derivadas segundas de la función de máxima verosimilitud con respecto a los parámetros a estimar, denominada matriz de información de Fisher, para calcular y minimizar la medida de error comparando diferentes diseños y eligiendo el más eficiente. La derivación analítica de la matriz de información de Fisher será diferente de acuerdo con las características de las alternativas de elección (genéricas o específicas) y con el modelo econométrico que se intenta estimar⁸.

El propósito de los diseños eficientes es definir un conjunto de escenarios de elección dados ciertos valores previos de los parámetros a estimarse, de manera de minimizar la medida del error alrededor del parámetro a estimar. La medida de error más utilizada para comparar diseños de elección y decidir cuál es el más eficiente es el denominado D-error:

$$D - error = (\det \Omega)^{\frac{1}{k}}$$

en el que k es el número de parámetros a estimar, $\Omega(\beta/X) = -I[(\beta/X)]^{-1}$ es la matriz de varianza-covarianza asintótica de las estimaciones máximo-verosímiles, $\hat{\beta}$, $I(\beta/X)$ es la matriz de información de Fisher, X es la matriz del diseño del experimento (Hensher, Rose y Greene, 2005; Rose y Bliemer, 2005).

⁶ En los experimentos de elección, el entrevistado debe elegir la alternativa que considera que mejor refleja su demanda potencial. Este tipo de encuestas generalmente presentan de 9 a 12 escenarios de elección por encuestado para evitar el efecto fatiga del entrevistado que se presenta con un número mayor de escenarios de elección. Sin embargo, en algunas investigaciones se afirma que un mayor número de escenarios puede generar mejoras en las estimaciones de demanda sin generar los problemas de fatiga (Louviere, et. al. 2000).

⁷ Debe notarse sin embargo, que desde la década de 1980 se ha reconocido que resulta apropiada la existencia de alguna correlación entre los atributos de las alternativas consideradas (Fowkes y Wardman, 1988).

⁸ Diferentes derivaciones analíticas de la matriz de información de Fisher pueden encontrarse en McFadden (1974), Bliemer y Rose (2005), Rose y Bliemer (2005), Bliemer y Rose (2008).



Como resultado, a medida que el error de medición (D-error) es menor, más eficiente es el diseño. Los “valores previos” de los parámetros se obtienen generalmente de encuestas piloto o de estudios previos.

En esta investigación, el diseño del experimento de elección de modo de transporte consideró seis alternativas de elección: automóvil, motocicleta, taxi, autobús, autobús diferencial (un autobús de mayor calidad) y la opción de “no elección”. Los atributos considerados fueron: tiempo de viaje, costo de viaje, tiempo de espera para las alternativas de transporte público (taxi, autobús y autobús diferencial), costos de estacionamiento (para autos y motocicletas) y distancia de caminata en origen y destino (para ambos tipos de autobús). Todos los atributos se incorporaron como específicos para cada una de las alternativas.

La encuesta se realizó en dos etapas, a saber:

a) En la primera etapa se realizó una encuesta de hogares donde se relevó información sobre el modo de viaje al trabajo de los trabajadores del hogar, complementado con variables sociodemográficas, por ejemplo: número de personas en el hogar, número de trabajadores en el hogar, número y tipo de vehículos de propiedad del hogar, disponibilidad de conexión a internet, direcciones de e-mail y número telefónico. La sección relacionada con los viajes realizados en la actualidad fue similar a una encuesta de origen y destino de viajes. También se preguntó la disposición de los trabajadores del hogar a participar en el experimento de elección de preferencias declaradas por internet o por medio de una entrevista personal en el hogar asistida por computadora en el caso de no disponibilidad de conexión a internet o dirección de email.

b) Una vez que se relevaron las direcciones de e-mail, se enviaron correos electrónicos invitando a participar en la encuesta de preferencias declaradas por internet, que conformó la segunda etapa.

La Tabla 1 presenta los atributos y niveles utilizados en el diseño del experimento de elección de preferencias declaradas.

Los niveles de los atributos se eligieron considerando las actuales condiciones experimentadas por la población de Córdoba. El rango de variación en los niveles de los atributos se diseñó considerando la experiencia de los entrevistados, tratando de expandir su rango de variación tanto como fuera posible sin perder realismo. En este sentido, además se produjeron cinco diseños de experimentos para viajes urbanos de diferentes distancias, a saber: 2,5 km; 5 km; 10 km; 15 km; 20 km y 25 km. Por lo tanto, los escenarios de elección presentados a cada uno de los entrevistados se corresponden con la distancia usual de viaje al trabajo del entrevistado. Cada entrevistado fue asignado a uno de los diseños de acuerdo con el tiempo de viaje del hogar al trabajo reportado y a velocidades promedio de viaje supuestas según la evidencia existente en la Ciudad de Córdoba para el modo de transporte utilizado.

También se consideró específicamente la disponibilidad de alternativas de transporte que poseía cada entrevistado. La Tabla 2 muestra diferentes modelos de diseño derivados de la diferente disponibilidad de alternativas consideradas.

Como puede apreciarse, se consideró que existe total disponibilidad de los modos de transporte público. Aunque, en la realidad muchas personas no poseen una línea de autobús diferencial con recorrido cercano a su hogar, se consideró razonable pensar que en un futuro cercano podrán tener este servicio disponible dado que las autoridades de



planificación del transporte urbano municipal podrían promover este servicio de comprobarse preferencias de los usuarios al uso del mismo. Adicionalmente, todos los ciudadanos conocen el tipo de servicio del que se trata dado que existen cinco líneas en operación en la actualidad. Por lo tanto, el diseño del experimento de elección considera todas las alternativas de transporte público como disponibles o potencialmente disponibles.

Tabla 1. Niveles de los atributos

| Distancia de viaje del hogar al trabajo: 2,5 km | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|----|----|-----------------------------------|----|----|-----------------------|----------|----------|--|---|---|--|-------|-------|
| Modo de transporte | Tiempo de viaje (minutos) | | | Tiempo de espera (minutos) | | | Costo de viaje | | | Cuadras caminadas en origen y destino | | | Costo de estacionamiento diario | | |
| Automóvil | 4 | 10 | | | | | \$ 1,25 | | \$ 2,50 | | | | \$ 0 | \$ 10 | \$ 20 |
| Motocicleta | 6 | 10 | | | | | \$ 0,50 | | \$ 1,00 | | | | \$ 0 | \$ 5 | \$ 10 |
| Taxi | 4 | 8 | 5 | 10 | 15 | | \$ 5,00 | \$ 7,00 | \$ 9,00 | | | | | | |
| Autobús | 8 | 12 | 10 | 20 | 30 | | \$ 2,50 | \$ 3,50 | \$ 4,50 | 2 | 4 | 6 | | | |
| Diferencial | 5 | 8 | 5 | 10 | 15 | | \$ 5,00 | \$ 7,00 | \$ 9,00 | 2 | 4 | 6 | | | |
| Distancia de viaje del hogar al trabajo: 5 km | | | | | | | | | | | | | | | |
| Modo de transporte | Tiempo de viaje (minutos) | | | Tiempo de espera (minutos) | | | Costo de viaje | | | Cuadras caminadas en origen y destino | | | Costo de estacionamiento diario | | |
| Automóvil | 8 | 12 | | | | | \$ 2,50 | \$ 4,00 | \$ 5,00 | | | | \$ 0 | \$ 10 | \$ 20 |
| Motocicleta | 8 | 12 | | | | | \$ 1,00 | \$ 1,60 | \$ 2,00 | | | | \$ 0 | \$ 5 | \$ 10 |
| Taxi | 8 | 12 | 5 | 10 | 15 | | \$ 10,00 | \$ 14,00 | \$ 18,00 | | | | | | |
| Autobús | 12 | 18 | 24 | 10 | 20 | 30 | \$ 2,50 | \$ 3,50 | \$ 4,50 | 2 | 4 | 6 | | | |
| Diferencial | 12 | 18 | 5 | 10 | 15 | | \$ 5,00 | \$ 7,00 | \$ 9,00 | 2 | 4 | 6 | | | |
| Distancia de viaje del hogar al trabajo: 10 km | | | | | | | | | | | | | | | |
| Modo de transporte | Tiempo de viaje (minutos) | | | Tiempo de espera (minutos) | | | Costo de viaje | | | Cuadras caminadas en origen y destino | | | Costo de estacionamiento diario | | |
| Automóvil | 15 | 20 | 25 | | | | \$ 5,00 | | \$ 10,00 | | | | \$ 0 | \$ 10 | \$ 20 |
| Motocicleta | 15 | 20 | 25 | | | | \$ 2,00 | | \$ 4,00 | | | | \$ 0 | \$ 5 | \$ 10 |
| Taxi | 15 | 20 | 25 | 5 | 10 | 15 | \$ 18,00 | \$ 23,00 | \$ 28,00 | | | | | | |
| Autobús | 25 | 35 | 45 | 10 | 20 | 30 | \$ 2,50 | \$ 3,50 | \$ 4,50 | 2 | 4 | 6 | | | |
| Diferencial | 20 | 25 | 30 | 5 | 10 | 15 | \$ 5,00 | \$ 7,00 | \$ 9,00 | 2 | 4 | 6 | | | |
| Distancia de viaje del hogar al trabajo: 15 km | | | | | | | | | | | | | | | |
| Modo de transporte | Tiempo de viaje (minutos) | | | Tiempo de espera (minutos) | | | Costo de viaje | | | Cuadras caminadas en origen y destino | | | Costo de estacionamiento diario | | |
| Automóvil | 20 | 25 | 30 | | | | \$ 7,50 | | \$ 15,00 | | | | \$ 0 | \$ 10 | \$ 20 |
| Motocicleta | 20 | 25 | 30 | | | | \$ 3,00 | | \$ 6,00 | | | | \$ 0 | \$ 5 | \$ 10 |
| Taxi | 20 | 25 | 30 | 5 | 10 | 15 | \$ 30,00 | \$ 35,00 | \$ 40,00 | | | | | | |
| Autobús | 35 | 45 | 60 | 10 | 20 | 30 | \$ 2,50 | \$ 3,50 | \$ 4,50 | 2 | 4 | 6 | | | |
| Diferencial | 30 | 38 | 45 | 5 | 10 | 15 | \$ 5,00 | \$ 7,00 | \$ 9,00 | 2 | 4 | 6 | | | |



Tabla 1: Niveles de los atributos (continuación)

| Distancia de viaje del hogar al trabajo: | | 20 km | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|-------|----|----------------------------|----|----|----------------|----------|----------|---------------------------------------|---|---|---------------------------------|-------|-------|
| Modo de transporte | Tiempo de viaje (minutos) | | | Tiempo de espera (minutos) | | | Costo de viaje | | | Cuadras caminadas en origen y destino | | | Costo de estacionamiento diario | | |
| Automóvil | 29 | 33 | 39 | | | | \$ 10,00 | | \$ 20,00 | | | | \$ 0 | \$ 10 | \$ 20 |
| Motocicleta | 29 | 33 | 39 | | | | \$ 4,00 | | \$ 8,00 | | | | \$ 0 | \$ 5 | \$ 10 |
| Taxi | 29 | 33 | 39 | 5 | 10 | 15 | \$ 35,00 | \$ 42,00 | \$ 49,00 | | | | | | |
| Autobús | 46 | 57 | 75 | 10 | 20 | 30 | \$ 2,50 | \$ 3,50 | \$ 4,50 | 2 | 4 | 6 | | | |
| Diferencial | 41 | 48 | 55 | 5 | 10 | 15 | \$ 5,00 | \$ 7,00 | \$ 9,00 | 2 | 4 | 6 | | | |

| Distancia de viaje del hogar al trabajo: | | 25 km | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|-------|----|----------------------------|----|----|----------------|----------|----------|---------------------------------------|---|---|---------------------------------|-------|-------|
| Modo de transporte | Tiempo de viaje (minutos) | | | Tiempo de espera (minutos) | | | Costo de viaje | | | Cuadras caminadas en origen y destino | | | Costo de estacionamiento diario | | |
| Automóvil | 35 | 40 | 45 | | | | \$ 12,50 | | \$ 25,00 | | | | \$ 0 | \$ 10 | \$ 20 |
| Motocicleta | 35 | 40 | 45 | | | | \$ 5,00 | | \$ 10,00 | | | | \$ 0 | \$ 5 | \$ 10 |
| Taxi | 35 | 40 | 45 | 5 | 10 | 15 | \$ 42,00 | \$ 50,00 | \$ 58,00 | | | | | | |
| Autobús | 56 | 68 | 88 | 10 | 20 | 30 | \$ 2,50 | \$ 3,50 | \$ 4,50 | 2 | 4 | 6 | | | |
| Diferencial | 50 | 58 | 68 | 5 | 10 | 15 | \$ 5,00 | \$ 7,00 | \$ 9,00 | 2 | 4 | 6 | | | |

Fuente: Elaboración propia en base a Sartori (2010).

Tabla 2. Diseños basados en la disponibilidad de alternativas

| Diseño | Alternativas disponibles | | | | |
|---|--------------------------|-------------|------|---------|---------------------|
| Modelo 1 – Todas las alternativas disponibles (Con automóvil y motocicleta en el hogar) | Automóvil | Motocicleta | Taxi | Autobús | Autobús diferencial |
| Modelo 2 (Sin automóvil en el hogar) | | Motocicleta | Taxi | Autobús | Autobús diferencial |
| Modelo 3 (Sin motocicleta en el hogar) | Automóvil | | Taxi | Autobús | Autobús diferencial |
| Modelo 4 (Sin automóvil ni motocicleta en el hogar) | | | Taxi | Autobús | Autobús diferencial |

Nota: El diseño final utilizado en la encuesta fue un modelo promedio de los cuatro modelos de este cuadro.

Fuente: Elaboración propia.

El diseño del experimento finalmente utilizado fue un diseño promedio de los cuatro modelos presentados en la Tabla 2, para cada una de las distancias de viaje consideradas.

Algunos valores de los parámetros previos utilizados se estimaron a partir de una encuesta piloto realizada en el año 2010 (Sartori, 2010) y otros valores previos se supusieron considerando valores sensatos de acuerdo con la valoración del ahorro de tiempos de viaje y de espera resultante. Los valores previos considerados se presentan en la Tabla 3.

Las funciones de utilidad especificadas para el diseño del experimento de elección considerando parámetros específicos fueron:

$$\begin{aligned}
 U(\text{Auto}) &= CEA_{\text{auto}} + B_{TV_{\text{auto}}} \cdot TV_{\text{auto}} + B_{CV_{\text{auto}}} \cdot CV_{\text{auto}} + B_{CE_{\text{auto}}} \cdot CE_{\text{auto}} \\
 U(\text{Motocicleta}) &= CEA_{\text{moto}} + B_{TV_{\text{moto}}} \cdot TV_{\text{moto}} + B_{CV_{\text{moto}}} \cdot CV_{\text{moto}} + B_{CE_{\text{moto}}} \cdot CE_{\text{moto}} \\
 U(\text{Taxi}) &= CEA_{\text{taxi}} + B_{TV_{\text{taxi}}} \cdot TV_{\text{taxi}} + B_{CV_{\text{taxi}}} \cdot CV_{\text{taxi}} + B_{TE_{\text{taxi}}} \cdot TE_{\text{taxi}}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 U(\text{Autobús}) &= CEA_{bus} + B_{TV_{bus}} \cdot TV_{bus} + B_{CV_{bus}} \cdot CV_{bus} + B_{TE_{bus}} \cdot TE_{bus} + B_{CC_{bus}} \cdot CC_{bus} \\
 U(\text{Diferencial}) &= CEA_{dif} + B_{TV_{Dif}} \cdot TV_{dif} + B_{CV_{Dif}} \cdot CV_{dif} + B_{TE_{Dif}} \cdot TE_{dif} + B_{CC_{Dif}} \cdot CC_{dif} \\
 U(NE) &= CEA_{ne}
 \end{aligned}$$

Los parámetros denominados CEA se refieren a las constantes específicas de la alternativa considerada, los denominados B_{TV} son los parámetros asociados a la variable Tiempo de Viaje (TV) de cada alternativa, los denominados B_{CV} están asociados a la variable Costo de Viaje (CV) de cada alternativa, los denominados B_{CE} están asociados a la variable Costo de Estacionamiento (CE), los denominados B_{TE} están asociados a la variable Tiempo de Espera (TE) y los denominados B_{CC} a la variable Cuadras Caminadas en origen y destino (CC).

Tabla 3. Valores previos utilizados en el diseño del experimento

| Alternativa | Coficiente | Valor previo | Alternativa | Coficiente | Valor previo |
|---------------------|-----------------|--------------|-----------------------------------|-----------------|--------------|
| Auto | CEA_{auto} | -0.425 | Motocicleta | CEA_{moto} | -2.5 |
| | $B_{TV_{auto}}$ | -0.0305 | | $B_{TV_{moto}}$ | -0.0305 |
| | $B_{CV_{auto}}$ | -0.05 | | $B_{CV_{moto}}$ | -0.05 |
| | $B_{CE_{auto}}$ | -0.227 | | $B_{CE_{moto}}$ | -0.227 |
| Taxi | CEA_{taxi} | -1.5 | Autobús | CEA_{bus} | 0 |
| | $B_{TV_{taxi}}$ | -0.03 | | $B_{TV_{bus}}$ | -0.025 |
| | $B_{CV_{taxi}}$ | -0.16 | | $B_{CV_{bus}}$ | -0.44 |
| | $B_{TE_{taxi}}$ | -0.06 | | $B_{TE_{bus}}$ | -0.0584 |
| Autobús diferencial | CEA_{dif} | -2.77 | Otro modo (opción de no elección) | $B_{CC_{bus}}$ | -0.166 |
| | $B_{TV_{dif}}$ | -0.012 | | CEA_{ne} | -3.51 |
| | $B_{CV_{dif}}$ | -0.012 | | | |
| | $B_{TE_{dif}}$ | -0.0241 | | | |
| | $B_{CC_{dif}}$ | -0.166 | | | |

Fuente: Elaboración propia en base a Sartori (2010).

El diseño muestral se efectuó en dos etapas basadas en los hogares, dividiendo la población en 74 zonas geográficas que se corresponden con las fracciones poblacionales del Censo de Población del año 2001, seleccionando aleatoriamente un radio censal de cada una de las fracciones y luego una manzana dentro del radio seleccionado. La selección de hogares a encuestar en cada manzana seleccionada se realizó por medio de muestreo sistemático, tratando de completar al menos una encuesta por cada manzana seleccionada.

Para interrelacionar las preferencias por tenencia de vehículo privado (automóvil o motocicleta) y las elecciones de modo de transporte para viajar al trabajo, se generó un modelo D-eficiente promedio (Choicemetrics, 2009; Rose, Scarpa y Bliemer, 2009) considerando los cuatro modelos descritos en la Tabla 2 y utilizando como ponderadores las participaciones muestrales de cada tipo de modelo a partir de los datos recopilados en la primera etapa de la encuesta (encuesta en el hogar). De esta manera, resulta posible utilizar el mismo diseño para aquellas personas que realizan viajes al trabajo de la misma distancia y que poseen alguno de los vehículos privados considerados, ambos o ninguno. La principal razón para usar el diseño promedio es que permite relevar respuestas de elección de modo de transporte considerando la disponibilidad de vehículo y con el mismo diseño relevar respuestas sobre la preferencia de compra de vehículo privado como una reacción a cambios de los niveles de servicio de los modos de transporte.

Adicionalmente, en el diseño del experimento se ha chequeado la medida de S-optimalidad propuesta por Bliemer y Rose (2005), derivada del diseño del experimento. Con los valores de los parámetros previos especificados, las medidas S_p (con un 5% de nivel de significación) fueron siempre mayores que el mínimo tamaño muestral derivado de una muestra aleatoria exógenamente estratificada por lo que se restringió el número de niveles para algunos atributos y se amplió el rango de los niveles para minimizar el tamaño muestral mínimo teórico requerido para la estimación eficiente de los parámetros, dados los valores previos.



También se evaluaron los tamaños muestrales mínimos (S_p) estimados para el diseño del modelo logit multinomial con coeficientes genéricos y como se esperaba, los tamaños muestrales mínimos (S_p) se redujeron significativamente en relación con el modelo con parámetros específicos, aunque nunca alcanzaron los tamaños mínimos para una muestra estratificada exógenamente. De todas maneras, finalmente se utilizó el modelo derivado con parámetros específicos dado que también permite estimar el modelo con parámetros genéricos.

La Figura 2 muestra un ejemplo de un escenario de elección presentado a un entrevistado que posee su trabajo a una distancia de 10 km de su hogar.

Como puede verse en la Figura 2, cada escenario de elección primero presentó la pregunta sobre la elección de modo de transporte para viajar al trabajo mostrando las alternativas disponibles al entrevistado, instándolo a que elija el modo de transporte que usaría en un día sin lluvia o en un día con lluvia. El propósito de incluir esta doble pregunta está relacionado con la posibilidad de capturar cambios en la demanda para días de lluvia dado que en este caso la demanda de servicios de taxi aumenta y la oferta de taxis en las calles disminuye.

Por ejemplo, para aquellos que no poseen automóvil, los escenarios de elección de modo de transporte no presentan la opción “automóvil” en la primera parte de la encuesta donde se presenta el cuadro comparativo de modos de transporte disponibles. Para aquellos que no poseen motocicleta, no aparece como opción para viajar al trabajo. Para aquellos que no poseen automóvil ni motocicleta, ninguno de estos dos modos de transporte aparecen como disponibles para que realice su elección en el escenario.

A continuación se preguntó si la persona estaría dispuesta a comprar un vehículo privado que no posee dentro de los próximos seis meses, considerando sus niveles actuales de ingreso y los niveles de los atributos de esta alternativa no disponible en conjunto con los niveles de las alternativas disponibles. Es decir, con el mismo diseño experimental promedio se ha tratado de capturar la preferencia por el modo de viaje al trabajo condicionado por las alternativas disponibles y las preferencias por tenencia de vehículo privado relacionadas con los niveles de servicio de los modos de transporte. Cabe señalar, que en este artículo se presentarán resultados relacionados con la decisión de viaje en días sin lluvia y la decisión de elección de modo de transporte que considera a todos los modos disponibles, es decir, la decisión que considera la preferencia por tenencia de vehículo privado.

Por otra parte, el diseño experimental consideró un total de 18 escenarios de elección divididos en tres bloques, de manera de presentar seis escenarios de elección a cada entrevistado.

El cuestionario fue diseñado usando la plataforma web de la Universidad Nacional de Córdoba, basada en el programa Limesurvey.

Se recolectaron un total de 227 encuestas de hogares a partir de las cuales se obtuvieron 112 encuestas de preferencias declaradas a trabajadores de esos hogares que respondieron seis escenarios de elección cada uno. En consecuencia, se obtuvieron 672 casos para la estimación. Considerando la estrategia utilizada de muestreo exógeno, este tamaño muestral permite admitir un error de muestreo para la probabilidad de uso de autobús⁹ igual a 1,47% con un 95% de nivel de confianza.

⁹ Las participaciones porcentuales de los distintos modos de transporte para viajes al trabajo obtenidos de la encuesta de origen y destino del año 2000 fueron: automóvil (30.71%), motocicleta (5.06%), taxi (5.95%), autobús (34.22%) y otros modos (24.06%). En el año 2000 no funcionaban líneas del servicio de autobús diferencial.



Figura 2. Escenario de elección para un viaje de 10 km y un entrevistado con automóvil y transporte público disponibles

Escenario de elección N° 1:

Analice atentamente cada uno de los medios de transporte que aparecen para que Ud. viaje de su hogar al trabajo, suponga que los medios de transporte están DISPONIBLES y que las características presentadas son CIERTAS, luego elija el medio de transporte que usaría para ir a su trabajo.

| | Automóvil | Taxi o Remis | Colectivo Común | Colectivo Diferencial |
|---|---------------|--------------|-----------------|-----------------------|
| Tiempo de Viaje | 25 minutos | 20 minutos | 45 minutos | 20 minutos |
| Costo de Viaje | \$ 10 | \$ 28 | \$ 2.50 | \$ 9 |
| Costo de Estacionamiento | \$ 10 por día | --- | --- | --- |
| Tiempo de Espera | --- | 10 minutos | 20 minutos | 5 minutos |
| Cuadras Caminadas en Origen más Destino | --- | --- | 2 cuadras | 4 cuadras |

*** Seleccione el medio de transporte que usaría para ir a su trabajo:**

| | Automóvil particular (conductor). | Automóvil particular (acompañante). | Taxi o remis. | Colectivo Común. | Colectivo Diferencial. | Ninguno de los anteriores. |
|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|
| ELECCIÓN EN DÍA SIN LLUVIA | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| ELECCIÓN EN DÍA CON LLUVIA | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

* Considerando las características de la tabla anterior y su nivel de ingreso actual, ¿Compraría una moto en los próximos 6 meses, si el tiempo de viaje fuera de 25 minutos, el costo de viaje de \$ 4 y el costo de estacionamiento de \$5 por día?

Sí
 No

Guardar cuestionario y regresar
<< anterior
siguiente >>
[Salir y reiniciar el cuestionario]

Fuente: Elaboración propia.

Cabe señalar, que no pudieron realizarse encuestas en todas las fracciones poblacionales previstas, razón por la cual se unieron fracciones a los efectos de calcular los ponderadores que sirvieron para realizar pronósticos.

Asimismo, se realizaron solo seis encuestas asistidas por computadora (con acceso móvil a internet 3G) en hogares que no poseían conexión de internet de banda ancha. Esta estrategia de relevamiento complementaria permitió realizar encuestas a personas analfabetas que de otro modo no hubieran integrado la muestra.

La base de datos quedó compuesta por 78 casos pertenecientes al modelo 1 (con automóvil y motocicleta), 78 casos al modelo 2 (sin automóvil en el hogar), 360 casos al modelo 3 (sin motocicleta en el hogar) y 156 casos del modelo 4 (sin automóvil ni motocicleta en el hogar).

5. ESTIMACIÓN SIMULTÁNEA DE ELECCIÓN DE MODO DE TRANSPORTE PARA VIAJAR AL TRABAJO Y PREFERENCIAS POR LA TENENCIA DE VEHÍCULO PRIVADO

La parte determinística de las funciones de utilidad lineal en los parámetros especificadas y estimadas para cada uno de las cuatro categorías con parámetro genérico del nido de tenencia del modelo logit anidado son:

$$\begin{aligned}
 U(Auto) &= \beta_{TV} \cdot TV_{auto} + \beta_{CV} \cdot CV_{auto} + \beta_{CE_a} \cdot CE_{auto} + \beta_{2.5} \cdot D_{2.5} + \beta_5 \cdot D_5 + \beta_{10} \cdot D_{10} + B_{15} \cdot D_{15} \\
 U(Moto) &= CEA_{Moto} + \beta_{TV} \cdot TV_{moto} + \beta_{CV} \cdot CV_{moto} + \beta_{CE_m} \cdot CE_{moto} + \beta_{2.5} \cdot D_{2.5} + \beta_5 \cdot D_5 + \beta_{10} \cdot D_{10} + B_{15} \cdot D_{15} \\
 U(Taxi) &= CEA_{Taxi} + \beta_{TV} \cdot TV_{taxi} + \beta_{TE} \cdot TE_{taxi} + \beta_{CV} \cdot CV_{taxi} + \beta_{2.5} \cdot D_{2.5} + \beta_5 \cdot D_5 + \beta_{10} \cdot D_{10} + \beta_{15} \cdot D_{15} \\
 U(Col) &= CEA_{Bus} + \beta_{TV} \cdot TV_{bus} + \beta_{TE} \cdot TE_{bus} + \beta_{CV} \cdot CV_{bus} + \beta_{CC} \cdot CC_{bus} + \beta_{2.5} \cdot D_{2.5} + \beta_5 \cdot D_5 + \beta_{10} \cdot D_{10} + \beta_{15} \cdot D_{15} \\
 U(Dif) &= CEA_{Dif} + \beta_{TV} \cdot TV_{dif} + \beta_{TE} \cdot TE_{dif} + \beta_{CV} \cdot CV_{dif} + \beta_{CC} \cdot CC_{dif} + \beta_{2.5} \cdot D_{2.5} + \beta_5 \cdot D_5 + \beta_{10} \cdot D_{10} + \beta_{15} \cdot D_{15} \\
 U(NE) &= CEA_{ne}
 \end{aligned}$$



Las variables explicativas del modelo son:

TV: tiempo de viaje; *CV*: costo de viaje; *CE*: costo de estacionamiento (diario); *TE*: tiempo de espera; *CC*: cuadras caminadas en origen y destino, $D_{2.5}$: variable ficticia que asume el valor 1 para viajes de 2,5 km desde el hogar al trabajo y el valor cero en otro caso; D_5 : variable ficticia que asume el valor 1 para viajes de 5 km entre el hogar y el trabajo y el valor cero en otro caso; D_{10} : variable ficticia que asume el valor 1 para viajes de 10 km entre el hogar y el trabajo y el valor cero en otro caso y D_{15} : variable ficticia que asume el valor 1 para viajes de 15 km entre el hogar y el trabajo y el valor cero en otro caso. La abreviatura *Dif* hace referencia al modo de transporte “autobús diferencial”.

Como puede apreciarse, los coeficientes asociados a las variables tiempo de viaje (β_{TV}), tiempo de espera (β_{TE}), costo de viaje (β_{CV}) y cuadras caminadas (β_{CC}) se estimaron como parámetros genéricos, mientras que los coeficientes asociados a la variable costo de estacionamiento (β_{CE}) se consideraron como específicos de las alternativas automóvil y motocicleta. Además, se incluyeron cinco constantes específicas de las alternativas (*CEA*) a estimar, suponiendo una alternativa con valor igual a cero a los fines de la identificación y estimación del modelo.

Asimismo, considerando que la estimación de demanda se basa en un experimento de preferencias declaradas y por lo tanto existen elecciones repetidas que podrían estar correlacionadas serialmente, el modelo se especificó como un modelo estático de componentes del error con un efecto aleatorio y se estimó como un modelo logit mixto a los fines de capturar la correlación intrínseca entre las elecciones realizadas por cada encuestado, dado que cada uno de los encuestados respondió a seis escenarios de elección. Se han adicionado términos de error aleatorio individuales específicos (normalizando la alternativa de no elección), de manera tal que la *i*-ésima función de utilidad es $U_{int} = V_{int} + \varepsilon_{int}$, donde la parte no observada de la utilidad de la alternativa *i*, para el individuo *n* y la situación de elección *t* se especificó como $\varepsilon_{int} = \alpha_{in} + \varepsilon'_{int}$ con $\alpha_{in} \sim N(0, \Sigma)$, suponiendo además que los errores ε'_{int} son independientes en *t* (Brownstone y Train, 1998; Train, 2009).

Las funciones de utilidad fueron las mismas para cada tipo de individuo, independientemente del modelo de diseño que le corresponda en relación con la tenencia de vehículo privado. Así, para el individuo sin automóvil en el hogar, por ejemplo, la probabilidad de usar automóvil para viajar al trabajo mostrará la probabilidad conjunta de compra de vehículo y uso del mismo en un futuro cercano.

En este estudio no se han considerado variables sociodemográficas adicionales como variables independientes dado que el objetivo principal fue probar empíricamente la hipótesis de interdependencia entre las políticas de transporte urbano y las preferencias por tenencia de vehículo y uso de los diferentes modos de transporte.

La estimación consideró la actual disponibilidad de vehículo privado de cada uno de los encuestados y sus preferencias por la tenencia de automóvil o motocicleta como una respuesta a los niveles de servicio de todos los modos de transporte considerados. Las alternativas de transporte público (taxi, autobús y autobús diferencial) se consideraron disponibles para todos los consumidores, dado que el análisis de políticas de mejora de los servicios de transporte público puede incluir la ampliación de la cobertura red de servicios y en particular la del autobús diferencial. Asimismo, en la elección de uso de automóvil el entrevistado podía elegir usar el automóvil “como conductor” o como “acompañante”, situación que no se consideró diferente en las estimaciones del modelo.



La estimación se realizó especificando conjuntamente un modelo logit anidado para la elección de modo de transporte y las preferencias de tenencia de vehículo de la siguiente manera. El diseño de elección de modo de transporte permitió preguntar al encuestado si estaría dispuesto a comprar un automóvil o una motocicleta, una vez que se confronta con el diseño del experimento de elección considerando total disponibilidad de los modos presentados. Así, el sistema de funciones de utilidad se compone por 24 funciones de utilidad, que pueden dividirse en cuatro categorías de seis alternativas cada una.

Las funciones de utilidad fueron las mismas para los encuestados pertenecientes a cualquier tipo de categoría de tenencia, y cada alternativa elemental se modeló con nido ficticio genérico en relación con la categoría de tenencia de vehículo correspondiente.

Las funciones de utilidad 1 a 6 corresponden a la categoría de persona que posee automóvil y motocicleta en el hogar (categoría 1). Las utilidades de la 7 a la 12 corresponden a la categoría de persona sin automóvil en el hogar (categoría 2). Las utilidades 13 a 18, para la categoría de individuo sin motocicleta en el hogar (categoría 3). Las utilidades 19 a 24 corresponden a un individuo sin automóvil ni motocicleta en el hogar (categoría 4). De esta manera, por ejemplo, a un individuo que no tiene automóvil disponible, se le preguntó si estaría dispuesto a comprar un automóvil considerando el diseño completo de elección con todas las alternativas disponibles. De la misma forma, a un individuo que no posee motocicleta disponible se le preguntó si estaría dispuesto a comprar una motocicleta en los próximos seis meses considerando el diseño completo que mostró todos los atributos de todas las alternativas: automóvil, motocicleta, taxi, autobús, autobús diferencial y otro (alternativa de no elección).

La estimación se realizó con el software BIOGEME (Bierlaire, 2003 y 2009). La Tabla 4 presenta los resultados de la estimación.

Las primeras aproximaciones del modelo permitían estimar libremente los parámetros de escala para los cuatro nidos, pero los resultados mostraron un problema de identificación que fue salvado fijando uno de los parámetros de escala e igualándolo al valor unitario (nido genérico correspondiente a la categoría de tenencia 4) y permitió estimar el modelo. El parámetro de escala del nido genérico de la categoría 3 de tenencia arrojó un valor igual a la unidad, razón por la cual también fue fijado en ese valor.

Este resultado sugiere que, más allá de la correlación intrínseca existente entre las elecciones que realiza un encuestado, no hay una correlación aumentada en los componentes no observados entre las preferencias por diferentes modos de transporte si la persona pertenece a las categorías 3 o 4 una vez que enfrentan el conjunto de elección completo que incluye todas las alternativas o modos de transporte.

Por lo tanto, para los nidos 3 y 4 el modelo colapsa a la especificación logit multinomial multidimensional de Ben-Akiva y Lerman (1974). Asimismo, presentar las 24 alternativas elementales en el modelo resulta crucial para el análisis de las preferencias de tenencia de automóvil y motocicleta, ya que permitirá predecir directamente la preferencia por compra de automóvil o motocicleta por parte de aquellos que no poseen alguno de estos modos de transporte en su hogar en la actualidad.

Todos los parámetros estimados tienen el signo esperado y son estadísticamente significativos a niveles razonables de nivel de significación.

También, el coeficiente σ_{panel} es significativo, lo que significa que este modelo captura la correlación intrínseca entre las observaciones del mismo individuo.



Tabla 4. Logit anidado multidimensional para la estimación simultánea de preferencia por tenencia de vehículo y elección de modo de transporte para viajar al trabajo

| Parámetro | Valor | Error Estándar | Estadístico t | p-valor | Error estándar robusto | Estadístico t robusto | p-valor |
|--------------------------|---------|----------------|----------------------------------|---------|------------------------|--|---------|
| CEA_{BUS} | 0,382 | 0,0881 | 4,34 | 0,00 | 0,105 | 3,65 | 0,00 |
| CEA_{NE} | -9,73 | 2,64 | -3,69 | 0,00 | 2,61 | -3,73 | 0,00 |
| $\beta_{2,5}$ | -3,99 | 1,76 | -2,27 | 0,02 | 1,66 | -2,40 | 0,02 |
| β_5 | -4,51 | 2,17 | -2,07 | 0,04 | 2,16 | -2,08 | 0,04 |
| β_{CC} | -0,074 | 0,0171 | -4,32 | 0,00 | 0,0172 | -4,30 | 0,00 |
| β_{CE_a} | -0,0336 | 0,00567 | -5,92 | 0,00 | 0,00705 | -4,76 | 0,00 |
| β_{CE_m} | -0,0518 | 0,00942 | -5,50 | 0,00 | 0,0136 | -3,81 | 0,00 |
| β_{CV} | -0,0692 | 0,00996 | -6,95 | 0,00 | 0,0116 | -5,97 | 0,00 |
| β_{TE} | -0,0178 | 0,0045 | -3,96 | 0,00 | 0,00478 | -3,73 | 0,00 |
| β_{TV} | -0,0144 | 0,00408 | -3,54 | 0,00 | 0,0038 | -3,79 | 0,00 |
| σ_{panel} | 4,45 | 1,21 | 3,68 | 0,00 | 1,14 | 3,92 | 0,00 |
| Parámetro | Valor | Error Estándar | Estadístico t (Ho: $\lambda=1$) | p-valor | Error estándar robusto | Estadístico t robusto (Ho: $\lambda=1$) | p-valor |
| Nido_M1 | 3,66 | 0,777 | 3,43 | 0,00 | 1,11 | 2,4 | 0,02 |
| Nido_M2 | 11,1 | 2,4 | 4,2 | 0,00 | 2,81 | 3,59 | 0,00 |
| Nido_M3 | 1,00 | Fijo | | | | | |
| Nido_M4 | 1,00 | Fijo | | | | | |
| Número de observaciones: | | 672 | Log de verosimilitud inicial: | | -1.172,436 | | |
| Rho cuadrado: | | 0,185 | Log de verosimilitud final: | | -955,937 | | |
| Rho Cuadrado ajustado: | | 0,174 | Razón de verosimilitud: | | 474,954 | | |

Fuente: *Elaboración propia.*

Las cuotas de mercado (o probabilidades de elección) de cada uno de los modos de transporte se calcularon aplicando el método de enumeración muestral ponderando cada respuesta con la participación de los trabajadores de la zona geográfica en el total de la población de trabajadores. Esta ponderación se aplica para obtener pronósticos de acuerdo con la estrategia de diseño muestral empleada.

Luego de presentar los resultados de la estimación del modelo econométrico, se realiza un análisis de escenarios, diseñado para pronosticar el uso de los diferentes modos de transporte para viajar al trabajo y las preferencias por tenencia de vehículo privado. Asimismo, a partir de los escenarios presentados se derivan las elasticidades de demanda.

El escenario base se diseñó considerando los siguientes niveles de los atributos: una velocidad promedio de 30 km/h para viajes en automóvil, motocicleta y taxi que determinó los tiempos de viaje según la distancia recorrida; una velocidad promedio de 18 km/h para autobús y de 20 km/h para autobús diferencial; costos diarios de estacionamiento de automóvil y motocicleta de \$10; tiempos de espera para autobús, autobús diferencial y taxi de 10 minutos en promedio; una tarifa de autobús de \$2,50; una tarifa de autobús diferencial igual a \$5; costos de viaje en automóvil calculados como \$0,50 por kilómetro recorrido y de \$0,25 por kilómetro para viaje en motocicleta.

La Tabla 5 presenta los resultados para el escenario base y siete escenarios adicionales. La columna del escenario base muestra la probabilidad de uso de los distintos modos de transporte para viajar al trabajo como así también la probabilidad de compra de automóvil y



motocicleta (nuevos o usados) en el corto plazo (considerando un horizonte temporal menor a un año) con el objetivo de viajar al trabajo. Los siguientes escenarios presentan los mismos resultados ante cambios determinados de los niveles de servicio de los modos de transporte y además muestran las variaciones porcentuales en las probabilidades de compra de automóvil y motocicleta y del uso de los diferentes modos de transporte seguidos por los cálculos de las elasticidades de demanda correspondientes a cada cambio considerado. Todos los resultados de pronósticos se obtuvieron aplicando el método de enumeración muestral.

El escenario 1 considera una disminución del 20% en los tiempos de viaje en autobús como consecuencia de un aumento de la velocidad promedio del 25%. Este escenario podría alcanzarse en la realidad mediante la implementación de vías o carriles exclusivos para autobuses, al menos en el centro de la ciudad. También se presentan las elasticidades de demanda de los diferentes modos de transporte ante el cambio considerado. Así, por ejemplo, la elasticidad tiempo de viaje de la demanda de autobús es de -0,406; la elasticidad de la demanda de uso de automóvil con respecto al tiempo de viaje en autobús es de 0,310; la elasticidad de uso de la motocicleta con respecto al tiempo de viaje en autobús es de 0,325; la elasticidad de demanda de autobús diferencial con respecto al tiempo de viaje en autobús es de 0,253.

El escenario 2 presenta una situación en la que el costo de estacionamiento de automóvil aumenta un 30%. Como resultado, se evidencia una disminución de los deseos de compra de automóvil del 20,27% y una disminución del uso de automóvil 13,32%; aumenta la probabilidad de compra de motocicleta en un 2,20% y del uso de motocicleta de un 2,93%; aumenta la probabilidad del uso del autobús en un 4,00% y del autobús diferencial en un 2,64%. La elasticidad de la demanda de uso del automóvil con respecto al cambio en el costo de estacionamiento se estimó en un valor de -0,444. También se derivaron las elasticidades de demanda de los diferentes modos de transporte ante un cambio en los costos de estacionamiento de automóvil. Un análisis similar no presentado en la Tabla 2, aumentando en un 30% el costo de estacionamiento de motocicleta, demostró que la elasticidad de la demanda de uso de motocicleta al costo de estacionamiento de motocicleta es de -0,582, es decir, la demanda de viajes en motocicleta es más elástica o sensible a cambios en los costos de estacionamiento que la demanda de viajes en automóvil. Asimismo, la elasticidad de la demanda de compra de motocicleta al costo de estacionamiento de motocicleta fue de -0,454; con lo cual la demanda de compra de motocicleta ante cambios en el costo de estacionamiento propio resulta importante aunque menos sensible que la de automóvil (que fue de -0,676 presentado en Tabla 2).

El escenario 3 considera que el tiempo de espera del servicio de autobús diferencial disminuye un 25%, tras lo cual disminuyen las probabilidades de compra y uso de automóvil y motocicleta, también disminuye la probabilidad de uso del autobús y del taxi, aumentando el uso del autobús diferencial en un 5,23% lo que permite calcular una elasticidad tiempo de espera de la demanda de autobús diferencial igual a -0,209.

En el escenario 4 disminuye el tiempo de espera del autobús en un 25%, provocando una disminución de las preferencias de compra y uso de vehículo privado y del uso de taxi y autobús diferencial. La demanda de autobús aumenta en un 4,51%, con lo cual la elasticidad de la demanda de autobús con respecto al tiempo de espera de autobús resulta de -0,18; es decir, ante una mejora de un 10% de las frecuencias (y de los tiempos de espera promedio) del autobús aumentará la demanda de este modo de transporte en un 1,8%.

El escenario 5 presenta una situación en la que el costo de viaje en autobús aumenta un 28%. Este es el incremento evidenciado en el mercado regulado de autobús desde que se relevó la encuesta que permitió estimar la demanda en este estudio. En este escenario se evidencia un aumento en la probabilidad de compra de automóvil de un 13,79% con



respecto al escenario base. Asimismo, aumenta la probabilidad de uso del automóvil en un 5,23%. El uso de autobús disminuye un 5,43% como consecuencia del aumento de la tarifa de autobús, con lo cual la elasticidad precio de la demanda de autobús es de -0,194. El uso de autobús diferencial aumenta un 2,53%, resultando en una elasticidad cruzada de la demanda de autobús diferencial con respecto a las tarifas de autobús igual a 0,09. La demanda de taxi/remis aumenta un 1,40%, evidenciando una elasticidad cruzada de la demanda de taxi/remis con respecto a las tarifas de autobús menor que la del autobús diferencial, con un valor de 0,050. Puede afirmarse que al considerar la demanda de viajes al trabajo existe una pequeña sustitución entre el autobús y el autobús diferencial y el taxi/remis. Asimismo, la magnitud de la sustitución entre autobús y automóvil o motocicleta es un tanto mayor. La elasticidad de la demanda de uso de automóvil es de 0,187 y la de uso de motocicleta es de 0,135.

En el escenario 6 se supone un 50% de aumento en el costo de viaje en autobús diferencial. Como consecuencia de este aumento, la probabilidad de compra de automóvil se incrementa en un 2,30%, la probabilidad de compra de motocicleta aumenta un 2,95%, la demanda de uso del automóvil aumenta un 3,01%, la demanda de uso de motocicleta aumenta un 3,15%, la demanda de autobús aumenta un 2,66% y la demanda de taxi aumenta un 2,78% mientras que la demanda de autobús diferencial disminuye un 17,18%. La elasticidad precio de la demanda de autobús diferencial es de -0,344.

El escenario 7 presenta una combinación múltiple de cambios en las variables de nivel de servicio, que están en línea con los cambios experimentados en el mercado en los primeros cuatro meses de 2012. Así, este escenario considera que los costos de viaje en automóvil y motocicleta se incrementan en un 30%. Además, la tarifa de autobús y autobús diferencial aumenta en un 28% en relación con el escenario base, al igual que sucedió en el mercado a partir del 13 de febrero de 2012. También considera que la tarifa de taxi aumenta en un 40% como lo hizo en el mercado a partir del 25 de abril de 2012. Los resultados evidencian que, según el modelo estimado, estos cambios operados en el mercado de transporte urbano provocarían un aumento del 2,32% en la probabilidad de compra de automóvil (con el objeto de usarlo para viajar al trabajo) y un aumento en la probabilidad de compra de motocicleta del orden del 4,76%. Sin embargo, la probabilidad de uso (o cuota de mercado) del automóvil presenta una disminución del 1,20%, la probabilidad de uso de motocicleta aumenta un 4,56%, la de autobús aumenta un 3,35%, la de autobús diferencial disminuye un 1,62% y la probabilidad de uso de taxi para viajar al trabajo disminuye un 32,35%.

Con todo, la disminución de la probabilidad de uso del taxi resulta significativa, con lo cual antes de implementar una política como la del escenario 7, habría que estimar los efectos que provocaría semejante disminución de la demanda de servicios de taxi y remis en la rentabilidad de los operadores, de manera de prevenir posibles situaciones de quiebra de operadores y disminución de puestos de trabajo y oferta en el sector. Sin embargo, debe recalarse que la disminución de la demanda de taxis/remis pronosticada se refiere únicamente a viajes al trabajo, con lo cual resultaría importante a los fines de la implementación de políticas poder ampliar este estudio para incorporar otros motivos de viaje, de manera de tener un panorama completo de los cambios que ocurrirían en la demanda de servicios de transporte urbano.

Resulta necesario puntualizar que según la experiencia de otros estudios de demanda de automóviles (según tipología de automóvil) realizados con encuestas de preferencias declaradas, los modelos puros de preferencias declaradas pueden arrojar pronósticos no realistas en algunos casos. Para obtener mejores pronósticos en relación a las cuotas de mercado de los modos de transporte analizados deben estimarse estos modelos de demanda integrando datos de preferencias declaradas con datos de preferencias reveladas (como el realizado por Dyssanayake y Morikawa, 2010). Sin embargo, los estudios de preferencias declaradas pueden utilizarse para obtener la valoración subjetiva de los



atributos de los modos de transporte considerados y para analizar las preferencias en el contexto de análisis de escenarios como el presentado aquí.

Tabla 5. Pronósticos de escenarios de política y elasticidades de demanda

| | Pronósticos | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Escenario Base | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 | Escenario 4 | Escenario 5 | Escenario 6 | Escenario 7 |
| P(auto) = | 0.2023 | 0.1898 | 0.1754 | 0.2005 | 0.1941 | 0.2129 | 0.2084 | 0.1999 |
| P(moto) = | 0.1909 | 0.1785 | 0.1965 | 0.1891 | 0.1848 | 0.1981 | 0.1969 | 0.1996 |
| P(taxi) = | 0.0547 | 0.0538 | 0.0559 | 0.0543 | 0.0540 | 0.0555 | 0.0562 | 0.0370 |
| P(autobús) = | 0.4085 | 0.4417 | 0.4249 | 0.4051 | 0.4269 | 0.3863 | 0.4194 | 0.4222 |
| P(diferencial) = | 0.1429 | 0.1356 | 0.1466 | 0.1503 | 0.1396 | 0.1465 | 0.1183 | 0.1406 |
| P(otro) = | 0.0007 | 0.0006 | 0.0007 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0007 |
| P(compra auto) = | 0.0384 | 0.0350 | 0.0306 | 0.0381 | 0.0349 | 0.0436 | 0.0392 | 0.0392 |
| P(compra moto) = | 0.1539 | 0.1495 | 0.1573 | 0.1527 | 0.1519 | 0.1561 | 0.1585 | 0.1613 |
| Var. % prob. compra Auto = | | -8,66% | -20,27% | -0,66% | -8,95% | 13,79% | 2,30% | 2,32% |
| Var. % prob. uso Auto = | | -6,21% | -13,32% | -0,89% | -4,10% | 5,23% | 3,01% | -1,20% |
| Var. % prob. compra Moto = | | -2,85% | 2,20% | -0,81% | -1,35% | 1,44% | 2,95% | 4,76% |
| Var. % prob. uso Moto = | | -6,49% | 2,93% | -0,93% | -3,20% | 3,78% | 3,15% | 4,56% |
| Var. % prob. uso Bus = | | 8,11% | 4,00% | -0,85% | 4,51% | -5,43% | 2,66% | 3,35% |
| Var. % prob. uso Diferencial = | | -5,07% | 2,64% | 5,23% | -2,29% | 2,53% | -17,18% | -1,62% |
| Var. % prob. uso Taxi = | | -1,69% | 2,23% | -0,77% | -1,31% | 1,40% | 2,78% | -32,35% |
| Elasticidad de la compra de auto | 0,433 | -0,676 | 0,026 | 0,358 | 0,492 | 0,046 | | |
| Elasticidad de la demanda de uso de auto | 0,310 | -0,444 | 0,036 | 0,164 | 0,187 | 0,060 | | |
| Elasticidad de la compra de moto | 0,143 | 0,073 | 0,033 | 0,054 | 0,051 | 0,059 | | |
| Elasticidad de la demanda de uso de moto | 0,325 | 0,098 | 0,037 | 0,128 | 0,135 | 0,063 | | |
| Elasticidad de la demanda de autobús (uso) | -0,406 | 0,133 | 0,034 | -0,180 | -0,194 | 0,053 | | |
| Elasticidad de la demanda de diferencial (uso) | 0,253 | 0,088 | -0,209 | 0,092 | 0,090 | -0,344 | | |
| Elasticidad de la demanda de taxi (uso) | 0,085 | 0,074 | 0,031 | 0,052 | 0,050 | 0,056 | | |

Fuente: Elaboración propia.

Con todo, la disminución de la probabilidad de uso del taxi resulta significativa¹⁰, con lo cual antes de implementar una política como la del escenario 7, habría que estimar los efectos que provocaría semejante disminución de la demanda de servicios de taxi y remis en la rentabilidad de los operadores, de manera de prevenir posibles situaciones de quiebra de operadores y disminución de puestos de trabajo y oferta en el sector. Sin embargo, debe recalarse que la disminución de la demanda de taxis/remis pronosticada se refiere únicamente a viajes al trabajo, con lo cual resultaría importante a los fines de la implementación de políticas poder ampliar este estudio para incorporar otros motivos de viaje, de manera de tener un panorama completo de los cambios que ocurrirían en la demanda de servicios de transporte urbano.

Resulta necesario puntualizar que según la experiencia de otros estudios de demanda de automóviles (según tipología de automóvil) realizados con encuestas de preferencias declaradas, los modelos puros de preferencias declaradas pueden arrojar pronósticos no realistas en algunos casos. Para obtener mejores pronósticos en relación con las cuotas de mercado de los modos de transporte analizados deben estimarse estos modelos de demanda integrando datos de preferencias declaradas con datos de preferencias reveladas (como el realizado por Dyssanayake y Morikawa, 2010). Sin embargo, los estudios de preferencias declaradas pueden utilizarse para obtener la valoración subjetiva de los

¹⁰ La elasticidad precio de la demanda de taxi considerando un aumento de la tarifa del 40% se calculó de manera independiente a los resultados del análisis de escenarios presentado, obteniéndose un valor de -0,838.



atributos de los modos de transporte considerados y para analizar las preferencias en el contexto de análisis de escenarios como el presentado aquí.

6. COMENTARIOS FINALES

Este artículo ha confirmado la hipótesis de interdependencia entre la elección de modo de transporte para viajar al trabajo basada en los niveles de servicio de los modos de transporte y la decisión de tenencia de automóvil y motocicleta.

Se ha especificado un modelo de elección discreta multidimensional logit anidado, considerando el estado de tenencia de vehículo privado de cuatro categorías de personas según su disponibilidad de automóvil o motocicleta en el hogar. La encuesta de preferencias declaradas realizada a una muestra de trabajadores de la ciudad de Córdoba ha permitido capturar las preferencias por la tenencia de automóvil y motocicleta de las personas que no poseen alguno de estos vehículos y la elección de modo de transporte para viajar al trabajo. La estimación realizada consideró los nidos de tenencia de vehículo privado en la parte superior del árbol de elección y la elección de modo de transporte en la parte inferior. Además, se especificó como un modelo de componentes del error para considerar la correlación serial existente debido a las respuestas repetidas que realiza un mismo encuestado que en esta oportunidad debió responder a seis escenarios de elección.

La demanda estimada halló parámetros genéricos significativos para las variables de nivel de servicio incluidas en las funciones de utilidad (tiempo de viaje, costo de viaje, tiempo de espera, cuadras caminadas en origen y destino) y parámetros específicos relacionados con los costos de estacionamiento de automóvil y motocicleta.

Se realizó un análisis de escenarios de política seguido del cálculo de las elasticidades de demanda de cada uno de los modos de transporte y la elasticidad de compra de automóvil o motocicleta ante cambios en determinados niveles de las variables de nivel de servicio. Se presentaron siete escenarios de política a partir de los cuales se han podido extraer los siguientes resultados:

- Aumentos de la velocidad promedio de los autobuses del orden del 20% podrían conseguirse implementando carriles exclusivos para autobuses. La disminución resultante de los tiempos de viaje en autobús (del 25%) podría generar una disminución de los deseos de compra de automóvil y motocicleta, disminuiría el número de viajes al trabajo en estos modos de transporte privado (6,21% en automóvil y 6,49% en motocicleta) y aumentaría el uso del autobús en un 8,11%.
- Un 30% de aumento de los costos de estacionamiento diario de los automóviles provocaría una disminución del uso de automóviles para viajar al trabajo del orden del 13,32%, un aumento del uso del autobús del 4,00%, un aumento del uso del autobús diferencial del 2,64% y un aumento del uso del taxi del 2,23%.
- Un 25% de disminución de los tiempos de espera promedio derivada de una mejora en las frecuencias de operación de los autobuses diferenciales provocaría un 5,23% de aumento en el uso de este modo de transporte y disminuciones menores en el uso de los demás modos de transporte.
- Un 25% de disminución de los tiempos de espera de los autobuses provocaría un 4,51% de aumento en el uso de los autobuses, una disminución del uso del automóvil del 4,10%, una disminución del uso de motocicleta del 3,20%, una disminución del uso de autobús diferencial del 2,29% y del 1,31% del servicio de taxi.
- Un 28% de aumento de las tarifas de autobús implicaría un aumento de los deseos de compra de automóvil de un 13,79% y de 1,44% de motocicleta. El aumento del uso de automóvil sería de un 5,23% y las motocicletas aumentarían su uso en un 3,78%. El uso



del autobús diferencial aumentaría en un 2,53% y el uso de taxi en un 1,40%. La elasticidad precio de la demanda de autobús se estimó con un valor de -0,194.

- Si aumentara la tarifa del autobús diferencial en un 50%, la demanda de viajes en este servicio disminuiría un 17,18%, la demanda de viajes en autobús aumentaría en un 2,66%, en automóvil aumentaría un 3,01%, en motocicleta se incrementaría en un 3,15% y la demanda de viajes al trabajo en taxi aumentaría un 2,78%. La elasticidad precio de la demanda de autobús diferencial es superior a la de autobús, con un valor estimado de -0,344.
- Una combinación múltiple de cambios en las variables de nivel de servicio, en línea con los cambios experimentados en el mercado en los primeros cuatro meses de 2012 (aumento de los costos de viaje en automóvil y motocicleta del 30%, aumento de las tarifas de autobús y autobús diferencial de un 28%, aumento de las tarifas de taxi del 40%) provocaría: un aumento del 2,32% en la probabilidad de compra de automóvil para viajar al trabajo, un aumento en la probabilidad de compra de motocicleta del orden del 4,76%, una disminución de la probabilidad de uso del automóvil del 1,20%, un aumento de 4,56% en la probabilidad de uso de motocicleta, un aumento del uso del autobús en un 3,35%, una disminución del uso de autobús diferencial en un 1,62% y una significativa disminución del uso de taxi para viajar al trabajo del 32,35%.
- Las variables que mayor efecto provocan en los deseos de compra y uso de automóvil son el costo de estacionamiento, el tiempo de viaje en autobús y el costo de viaje en autobús.
- Considerando la sensibilidad de la demanda de uso de los diferentes modos de transporte público (autobús, autobús diferencial y taxi) a cambios en las tarifas de cada uno de ellos, se evidencia que la demanda de taxi es la más sensible, con una elasticidad precio igual a -0,838; mientras que la elasticidad precio de la demanda de autobús es de -0,194 y la de autobús diferencial es de -0,344.

Como resultado, si el objetivo de las políticas de transporte urbano es mejorar la movilidad urbana y disminuir la congestión del tránsito existente en ciudades intermedias como Córdoba en Argentina, promoviendo el uso de los modos de transporte público, no resultará suficiente con mantener el "status quo" que significaría solamente aumentar la oferta de servicios a medida que crece la población urbana. Reconociendo que no hay posibilidad de ampliar la red de calles y avenidas en el corto plazo, resulta apropiado y necesario mejorar los niveles de servicio de los modos de transporte público en relación a los modos de transporte privado de manera de generar los incentivos apropiados para aumentar la demanda de uso del transporte público. Adicionalmente, como se ha comprobado, existe una clara relación entre las preferencias de tenencia de vehículo privado y los niveles de servicio de los modos de transporte, al menos al considerar los viajes al trabajo. Se evidencia que existe una significativa sensibilidad de las preferencias de compra de automóvil y motocicleta a los costos de estacionamiento. Por otra parte, aumentos de los tiempos y costos de viaje en autobús podrían impulsar en el corto plazo decisiones de compra de automóvil y motocicleta para realizar viajes al trabajo, agravando las actuales condiciones de congestión del tránsito urbano en horas pico.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia y Tecnología (Secyt) de la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina), por aportar a la financiación de la investigación. A Luis Ignacio Rizzi, profesor de la Pontificia Universidad Católica de Chile por sus valiosos comentarios. Sin embargo, el contenido y los errores u omisiones que contengan el artículo son total responsabilidad de los autores.

BIBLIOGRAFÍA

BATES, John. 1988. Econometric Issues in stated preference analysis. *Journal of Transport Economics and Policy*, January.



- BEN-AKIVA, Moshe y LERMAN, Steven. 1974. "Some estimation results of a simultaneous model of auto ownership and mode choice to work". *Transportation*, vol. 3 n° 4.
- BEN-AKIVA, Moshe y LERMAN, Steven. 1985. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. MIT Press.
- BHAT, C. y PULUGURTA, V. 1998. A comparison of two alternative behavioural choice mechanisms for household auto ownership decisions. *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 32 n° 1, p. 61-75.
- BHAT, Chandra; SEN, Sudeshna y ELURU, Naveen. 2009. The impact of demographics, built environment attributes, vehicle characteristics, and gasoline prices on household vehicle holdings and use. *Transportation Research Part B: Methodological* vol. 43, p. 1-18.
- BIERLAIRE, Michel. 2003. BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models, *Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference*, Ascona, Switzerland.
- BIERLAIRE, Michel. 2009. Estimation of discrete choice models with BIOGEME 1.8. <http://transport2.epfl.ch/biogeme/doc/tutorial.pdf>
- BLIEMER, Michiel y ROSE, John. 2008. Construction of experimental designs for mixed logit models allowing for correlation across choice observations. Working Paper ITLS-WP-08-13. Institute of Transport Studies. The University of Sydney.
- BLIEMER, Michiel y ROSE, John. 2005. Efficient designs for alternative specific choice experiments. Working Paper ITLS-WP-05-04. Institute of Transport Studies. The University of Sydney.
- BRADLEY, M. y DALY, A. 1994. Use of the logit scaling approach to test for rank-order and fatigue effects in stated preference data. *Transportation* vol. 21, issue 2, p. 167-184.
- BROWNSTONE, D. y SMALL, K. 1989. Efficient estimation of nested logit models. *Journal of Business and Economic Statistics*, vol. 7, n° 1, p. 67-74.
- BROWNSTONE, D. y TRAIN, K. 1998. Forecasting new product penetration with flexible substitution patterns. *Journal of Econometrics* vol. 89 n° 1-2, p. 109-129.
- BROWNSTONE, D.; BUNCH, D. y TRAIN, K. 2000. Joint mixed logit models of stated and revealed preferences for alternative fuel vehicles, *Transportation Research Part B: Methodological* vol. 34 n° 5, p. 315-338.
- C3T - UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. 2011. Estudio sobre tasa de motorización. Relaciones y determinantes. Buenos Aires, Argentina.
- CHOICEMETRICS. 2009. NGene 1.0. User Manual & Reference Guide. The cutting edge in experimental design.
- DE JONG, Gerard. 1990. An indirect utility model of car ownership and private car use. *European Economic Review* 34, pp. 971-985.
- DE JONG, Gerard; FOX, James; DALY, Andrew; PIETERS, Marits y SMIT, Remko. 2004. Comparison of car ownership models. *Transport Review* vol. 24 n° 4, p. 379-408.
- DHAR, Ravi y SIMONSON, Itamar. 2003. The Effect of Forced Choice on Choice. *Journal of Marketing Research* vol. 40 n° 2, p. 146-160.
- Dhar, Ravi. 1997. Consumer Preference for a No-Choice Option. *The Journal of Consumer Research* vol. 24 n° 2, p. 215-231.
- DISSANAYAKE, Dilum y MORIKAWA, Takayuki. 2010. Investigating household vehicle ownership, mode choice and trip sharing decisions using a combined revealed preference/stated preference Nested Logit model: case study in Bangkok Metropolitan Region. *Journal of Transport Geography* vol. 18, p. 402-410.
- FOWKES, A. S. y WARDMAN, M. 1988. The design of stated preference travel choice experiments: with special reference to interpersonal taste variations. *Journal of Transport Economics and Policy* vol. 22 n° 1.
- HENSHER, D. A.; BARNARD, P. O. y TRUONG, T. P. 1988. The role of stated preference methods in studies of travel choice. *Journal of Transport Economics and Policy* vol. 22 n° 1.



- HENSHER, D. y REYES, A. J. 2000. Trip chaining as a barrier to the propensity to use public transport. *Transportation* 27. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, p. 341-361.
- HENSHER, David. 1994. Stated preference analysis of travel choices: the state of practice. *Transportation*, 21. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, p. 107-133.
- HENSHER, David; ROSE, John M. y GREENE, William H. 2005. *Applied Choice Analysis. A Primer*. Cambridge. UK. Cambridge University Press.
- JORDAN, R. y SIMIONI, D. 1998. Ciudades Intermedias de América Latina y el Caribe: Propuestas para la Gestión Urbana. CEPAL.
- KOPPELMAN, Frank S. y GARROW, Laura. 2005. Efficiently estimating nested logit models with choice-based samples: example applications. *Transportation Research Record* vol. 1921, p. 63-69.
- KUMAR, M. y KRISHNA RAO, K. V. 2006. A stated preference study for a car ownership model in the context of developing countries. *Transportation Planning and Technology* vol. 29 n° 5, p. 409-425.
- LOUVIERE, Jordan J.; HENSHER, David y SWAIT, Joffre. 2000. *Stated Choice Methods. Analysis and Application*. Ed. Cambridge University Press.
- MACKIE, Peter. 2005. The London congestion charge: A tentative economic appraisal. A comment on the paper by Prud'homme and Bocarejo. *Transport Policy* vol. 12 n° 3, p. 288-290.
- MANSKI, C. y LERMAN, S. 1977. The estimation of choice probabilities from choice-based samples, *Econometrica* 45, p. 1977-1988.
- MARCONETTI, Diego. 2008. Limpieza, tránsito y transporte con mala nota. *La voz del interior*, Córdoba, 7 de diciembre.
- MCFADDEN, Daniel. 1974. *Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behaviour*. En ZAREMBKA, P. (ed.). *Frontiers of Econometrics*. New York, Academic Press, p. 105-142.
- MOHRING, Herbert. 1999. Congestion. En GÓMEZ-IBÁÑEZ, José; TYE, William B. y WINSTON, Clifford, (edits.) *Essays in Transportation Economics and Policy. A Handbook in honor of John R. Meyer*. The Brookings Institution, cap. 6.
- NEWBERY, D. M. 1994 (2003). Pricing and congestion: economic principles relevant to pricing roads. En LAYARD, R. y GLAISTER, S. (edits.). *Cost-Benefit Analysis*. Cambridge University Press, UK, cap. 13.
- ORTÚZAR, Juan de D. y WILLUMSEN, L. G. 1994. *Modelling Transport*. 2ª ed. Ed. Wiley.
- PAGE, M.; WHELAN, G. y DALY, A. 2000. Modelling the factors which influence new car purchasing. *European Transport Conference*, Cambridge, UK, PTRC.
- PRUD'HOMME, Rémy y BOCAREJO, Juan Pablo. 2005. The London congestion charge: a tentative economic appraisal. *Transport Policy* vol. 12 n° 3, p. 279-287.
- ROSE, John M. y BLIEMER, Michiel C. J. 2004. The design of stated choice experiments: 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 BLIEMER, Michiel C. J. 2005. Constructing Efficient Choice Experiments. Working Paper ITLS-WP-05-07. Institute of Transport Studies. The University of Sydney.
- ROSE, John M. y BLIEMER, Michiel C. J. 2005a. Sample optimality in the design of stated choice experiments. Working Paper ITLS-WP-05-13. Institute of Transport Studies. The University of Sydney.
- ROSE, John M. y HENSHER, David A. 2004. Handling individual specific availability of alternatives in stated choice experiments. *Seventh International Conference on Travel Survey Methods*. Costa Rica, 1 al 6 de Agosto.
- ROSE, John M., SCARPA, R. y BLIEMER, M. C. J. 2009. Incorporating model uncertainty into the generation of efficient stated choice experiments: A model averaging approach, *International Choice Modelling Conference*, Yorkshire U.K., 30 de marzo - 1 de abril.
- SARTORI, Juan José P. 2010. Estimación de la demanda de viajes al trabajo y la tenencia de vehículo particular utilizando encuestas de preferencias declaradas en la Ciudad de Córdoba – Argentina. *Anales de la XLV*



Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política. Buenos Aires, Argentina, Universidad Nacional de Buenos Aires, noviembre.

SARTORI, Juan José P. 2010a. Colectivo Imaginado [Planificación del transporte urbano]. *Hoy la Universidad*, Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba año 2, n° 3, p. 20-22.

SRINIVASAN, Sivaramakrishnan y WALKER, Joan L. 2009. Vehicle ownership and mode use: the challenge of sustainability. *Transportation* n° 36, p. 367-370.

TRAIN, Kenneth. 1980. A structured logit model of auto ownership and mode choice. *Review of Economic Studies*, vol. 47, n° 2, p. 357-370.

TRAIN, Kenneth. 1986. *Qualitative Choice Analysis. Theory, Econometrics and an Application to Automobile Demand*. Cambridge, Massachusetts, The MIT Press.

TRAIN, Kenneth. 2009. *Discrete Choice Methods with Simulation*, Cambridge, UK, Cambridge University Press.

VAN ACKER, Veronique y WITLOX, Frank. 2010. Car ownership as a mediating variable in car travel behavior research using a structural equation modeling approach to identify its dual relationship. *Journal of Transport Geography* n° 18, p. 65-74.

WHELAN, Gerard. 2001. Methodological advances in modelling and forecasting car ownership in Great Britain. *European Transport Conference*, Cambridge, UK, PTRC.

WHELAN, Gerard. 2007. Modelling car ownership in Great Britain. *Transportation Research Part A* vol. 41, p. 205-219.



Juan José Pompilio Sartori (jsartori@eco.unc.edu.ar)

Profesor adjunto (Licenciatura en Economía - Facultad de Ciencias Económicas – Universidad Nacional de Córdoba). Candidato al Doctorado en Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Córdoba. Máster en Economía Industrial con especialidad en Economía del Transporte (Universidad Carlos III de Madrid en asociación con el Institute for Transport Studies – University of Leeds).

Carlos Walter Robledo (cwrobledo@agro.uncor.edu)

Prof. Asociado en Econometría III. Departamento de Economía y Finanzas. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de Córdoba. Prof. Adjunto en Estadística y Diseño de Experimentos. Departamento de Desarrollo Rural. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Ph.D. in Econometrics and Quantitative Methods. Louisiana State University. USA.