

# ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES DE LA CIUDAD DE CÓRDOBA

---

## PUBLIC TRANSPORT ESTIMATE DEMAND FOR STUDENTS OF CÓRDOBA CITY

---

SARTORI, JUAN JOSÉ POMPILIO<sup>1</sup>; OVIEDO, JORGE MAURICIO<sup>2</sup>; MÜLLER, ERIC ROGER<sup>3</sup>.

---

RECIBIDO: 05/07/2017 | ACEPTADO: 14/12/2017

### RESUMEN

Este estudio presenta estimaciones de modelos de elección discreta basados en una muestra de estudiantes a partir de una prueba piloto. Se presentan los resultados correspondientes a los viajes al lugar de estudio por parte de estudiantes universitarios, algunos de los cuales además de estudiar, trabajan. Se ha estimado un modelo logit multinomial de elección de modo de transporte para viajar al lugar de estudio, en el que se han combinado datos de preferencias reveladas y declaradas. El estudio presenta, además, pronósticos de la cuota de mercado del uso de los diferentes modos de transporte, la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje, tiempo de espera y cuerdas caminadas en origen y destino al utilizar autobús, como así también las elasticidades de demanda de la elección de modo de transporte y los cambios en el excedente del consumidor ante la aplicación de políticas asociadas a cambios en algunas variables de nivel de servicio de los diferentes modos de transporte.

---

**ABSTRACT:** *The study presents discrete choice models estimated with a sample of students from a pilot survey. It presents estimation results derived from study journeys of university*

---

<sup>1</sup> Departamento de Economía y Finanzas e Instituto de Estadística y Demografía – Facultad de Ciencias Económicas - Universidad Nacional de Córdoba. E-mail: jsartori@eco.unc.edu.ar

<sup>2</sup> Instituto y Departamento de Economía y Finanzas – Facultad de Ciencias Económicas - Universidad Nacional de Córdoba. E-mail: joviedo@eco.unc.edu.ar

<sup>3</sup> Ayudante alumno de investigación. Departamento de Economía y Finanzas – Facultad de Ciencias Económicas - Universidad Nacional de Córdoba. E-mail: eriermuller@hotmail.com

*students, some of which are also workers. It has been estimated a multinomial logit model for the decision of making trips to study places, combining revealed and stated preference data. The paper presents market share forecasts for transport modes considered, the subjective valuation of travel time savings, waiting time savings and savings of walked blocks in origin and destination using bus services. Also, it has been estimated the elasticities of demand from the mode choice model and consumer surplus changes derived from the application of policies associated to changes in level of service variables transport services.*

PALABRAS CLAVE: demanda de transporte; preferencias reveladas y declaradas; logit multinomial; excedente del consumidor.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Córdoba, con sus 1.329.604 habitantes<sup>4</sup>, ocupa el segundo lugar de las ciudades más pobladas de Argentina, y el puesto 32 en el ranking de mayores aglomeraciones de América Latina. Los estudiantes universitarios representan una proporción importante de la población, debido a que Córdoba nuclea una de las mayores ofertas académicas del país. A las universidades de la ciudad de Córdoba concurren 157.000 estudiantes.

Para la planificación del transporte urbano se utilizan modelos de elección discreta que permiten pronosticar las consecuencias que distintas medidas de política pública en materia de transporte tienen sobre la elección del medio elegido para el traslado.

Este estudio presenta estimaciones de modelos de elección discreta basados en una muestra piloto de estudiantes. Para ilustrar las metodologías de estimación utilizadas, aquí se presentan los resultados correspondientes a los viajes al lugar de estudio por parte de estudiantes universitarios, algunos de los cuales además de estudiar trabajan. Se ha estimado un modelo logit multinomial de elección de modo de transporte para viajar al lugar de estudio, en el que se

han combinado datos de preferencias reveladas y declaradas.

En la segunda sección se presentan los fundamentos teóricos de los modelos aplicados.

En la tercera sección se presenta el diseño del experimento de elección y la forma en que se realizó el relevamiento de datos.

En la cuarta sección se presentan los resultados obtenidos de las estimaciones realizadas.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Los modelos de elección discreta se basan en la teoría de la utilidad aleatoria de Manski (1977), parten del supuesto de que el agente compara entre alternativas, y elige racionalmente aquella que le reporte mayor utilidad. Para esto tiene en cuenta los atributos de cada alternativa y sus características socioeconómicas.

En estos modelos, un decisor  $n$  debe optar entre  $j$  alternativas. En cada caso, la utilidad que le reporta al agente la alternativa  $j$  será  $U_{nj}$ . Debido a que el decisor se comporta maximizando su utilidad, la alternativa  $i$  será elegida solo si:

$$U_{ni} > U_{nj} \forall i \neq j$$

---

<sup>4</sup> Según el Censo Nacional de Hogares 2010 de la República Argentina.

El investigador observa algunos atributos de las alternativas  $x_{nj}$  y algunas características del decisor  $s_{nj}$ . Entonces, puede representar a la función de utilidad de la siguiente manera:

$$V_{nj} = V(x_{nj}; s_{nj})$$

Debido a que no todos los aspectos de la función de utilidad son observables, podemos descomponer a esta de la siguiente forma:

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj}$$

Donde  $\varepsilon_{nj}$  incluye todos los factores inobservables por parte del investigador. El término  $\varepsilon_{nj}$  es tomado como una variable aleatoria<sup>5</sup>, derivando de esto el nombre del modelo.

Conociendo la función de densidad del vector aleatorio, la probabilidad de que el agente elija la alternativa  $i$  es:

$$P_{ni} = P(U_{ni} > U_{nj} \forall i \neq j)$$

$$P_{ni} = P(V_{ni} + \varepsilon_{ni} > V_{nj} + \varepsilon_{nj} \forall i \neq j)$$

$$P_{ni} = P(\varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni} < V_{ni} - V_{nj} \forall i \neq j)$$

$P_{ni}$  es la cuota de mercado de la alternativa  $i$ , es decir, la proporción de personas que optan por esa alternativa.

El modelo Logit, originalmente propuesto por Luce (1959), es el más usado de la familia de los modelos de elección discreta. Su gran aceptación se debe principalmente a la ventaja de ser un modelo de elección de cálculo sencillo y a los buenos pronósticos que resultan de su aplicación.

En este modelo se parte de la utilidad aleatoria especificada y constituida por un componente observado por el investigador  $V_{nj}$ , y otro desconocido  $\varepsilon_{nj}$

tratado como una variable aleatoria.

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj}$$

El modelo logit supone que los  $\varepsilon_{nj}$  son independientes e idénticamente distribuidos, con distribución valor extremo tipo I o distribución de Gumbel<sup>6</sup>. Esta independencia implica que la parte no observada de la utilidad de una alternativa no se encuentra correlacionada con la parte no observada de otra alternativa. Podemos expresar la probabilidad de que un individuo opte por la alternativa  $i$  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  $\varepsilon_i$  es un término de error aleatorio relacionado con los efectos no observables.

$\lambda$  es el factor de escala o parámetro de precisión, que es una función inversa de la desviación estándar de los efectos no observables o residuos del modelo  $\varepsilon_i$ . En este modelo,  $\lambda$  se supone igual a la unidad. El modelo logit cuenta con la propiedad denominada "Independencia de las alternativas irrelevantes" (IAI) como una característica clave del mismo. Esta propiedad establece que para dos alternativas cualesquiera  $i$  y  $k$  la razón de probabilidades entre estas dos alternativas independiente de la presencia

<sup>5</sup> La distribución de probabilidad del término aleatorio depende del modelo adoptado por el investigador.

<sup>6</sup> La función de densidad para los  $\varepsilon_{nj}$  de la distribución Gumbel es:  $f(\varepsilon_{nj}) = e^{-\varepsilon_{nj}} e^{-e^{-\varepsilon_{nj}}}$  y la función de distribución acumulativa es:

$F(\varepsilon_{nj}) = e^{-e^{-\varepsilon_{nj}}}$

o ausencia de cualquier otra alternativa en el conjunto de elección. El primer modelo introducido para solucionar el problema de la violación del supuesto de IID/IAI fue el modelo logit anidado. Este modelo reconoce la posibilidad de que cada alternativa pueda contener información en las características no observables de cada una de ellas que juegue un rol diferente entre alternativas en la determinación de un resultado de elección. El modelo logit anidado es un método de elección específicamente diseñado para reconocer la posibilidad de existencia de diferentes varianzas entre alternativas y alguna correlación entre subconjuntos de alternativas. Esto es equivalente a relajar el supuesto de IID/IAI.

La estimación de modelos de valor extremo generalizado que combinan datos de preferencias reveladas (PR) y preferencias declaradas (PD) se utiliza para mejorar la confiabilidad de los parámetros de los modelos de preferencias reveladas con los datos de preferencias declaradas<sup>7</sup>. Como afirman Dissanayake y Morikawa (2010) en base a Ben-Akiva y Morikawa (1990) y Ortúzar y Willumsen (1994), la diferencia entre los residuos de preferencias reveladas ( $\varphi$ ) y declaradas ( $\xi$  puede presentarse como una función de las varianzas de cada tipo de error, de la siguiente manera:

$$\sigma_{\varphi}^2 = \mu^2 \cdot \sigma_{\xi}^2$$

donde  $\mu$  es un coeficiente de escala desconocido que debe estimarse.

En general, los datos de preferencias declaradas poseen mayor ruido aleatorio que los datos de preferencias reveladas y por lo tanto, el coeficiente de escala ( $\mu$ ) es menor a la unidad. Si este no fuera el caso, puede suponerse que los datos de preferencias reveladas poseen mayor ruido aleatorio, pudiendo comprobarse este supuesto reestimando un modelo

con la estructura inversa. Las funciones de utilidad utilizando ambos tipos de datos son:

$$U^{PR} = \beta' \cdot x^{PR} + \gamma' \cdot y^{PR} + \varphi^{PR}$$

$$U^{PD} = \mu \cdot (\beta' \cdot x^{PD} + \lambda' \cdot z^{PD} + \xi^{PD})$$

En las cuales,  $x$  es un vector de atributos comunes a ambos tipos de datos, PR y PD;  $y$  es un vector de atributos específicos relacionados con las elecciones de preferencias reveladas;  $z$  es un vector de atributos específicos relacionados con las elecciones de preferencias declaradas;  $\beta'$ ,  $\gamma'$ ,  $\lambda'$  son vectores de parámetros desconocidos;  $\varphi$ ,  $\xi$  son los términos de error (componente inobservable) de las funciones de utilidad de preferencias reveladas y preferencias declaradas respectivamente y  $\mu$  es un coeficiente de escala.

Las funciones de utilidad anteriores permiten homogeneizar los dos tipos de residuos al multiplicar los parámetros de preferencias declaradas por  $\mu$ , haciendo que el error aleatorio asociado a las preferencias declaradas posea la misma varianza que el error de preferencias reveladas.

El modelo logit multinomial con ambos tipos de datos, suponiendo que ambos tipos de error siguen una distribución Gumbel o de valor extremo tipo I con media cero y diferente varianza, puede expresarse como:

$$P_{iq}^{PR} = \frac{e^{(\beta' \cdot x_{iq}^{PR} + \gamma' \cdot y_{iq}^{PR})}}{\sum_{j=1}^n e^{(\beta' \cdot x_{jq}^{PR} + \gamma' \cdot y_{jq}^{PR})}}$$

$$P_{iq}^{PD} = \frac{e^{\mu \cdot (\beta' \cdot x_{iq}^{PD} + \lambda' \cdot z_{iq}^{PD})}}{\sum_{j=1}^n e^{\mu \cdot (\beta' \cdot x_{jq}^{PD} + \lambda' \cdot z_{jq}^{PD})}}$$

<sup>7</sup> Ben-Akiva, et. al. (1994), desarrollan un marco unificado de análisis para realizar estimaciones con ambos tipos de datos.

El sub-índice “*q*” se refiere al individuo y los subíndices “*i*” y “*j*” se refieren a las alternativas de elección.

Y la función de máxima verosimilitud para estimar los parámetros del modelo es:

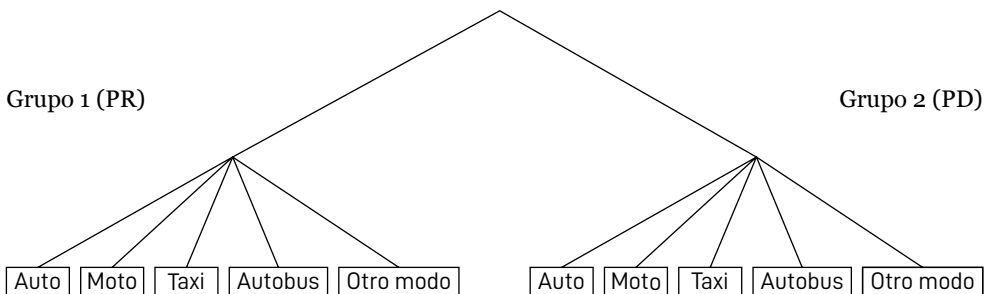
$$L(\beta', \mu, \gamma', \lambda') = \left( \prod_{q=1}^{N^{PR}} \prod_{i=1}^n P_{iq}^{PR} \right) \cdot \left( \prod_{q=1}^{N^{PD}} \prod_{i=1}^n P_{iq}^{PD} \right)$$

La estimación de los parámetros puede realizarse mediante dos métodos: estimación secuencial o simultánea (Ortúzar y Willumsen, 1994). El procedimiento de estimación simultánea, también denominado máxima verosimilitud con información completa (Train, 2009), puede representarse mediante una estructura artificial de árbol de elección que contiene al menos el doble de alternativas de elección de las existentes en la realidad, un subconjunto se refiere a las alternativas de preferencias reveladas y el otro a las alternativas de preferencias declaradas. En la Figura 1 se presenta un modelo de elección de modo de transporte considerando la estructura artificial de árbol de decisión anidado de preferencias reveladas y preferencias declaradas considerando a cada conjunto de datos como un “grupo” no solapado, para la estimación conjunta de un modelo logit multinomial anidado de dos niveles

utilizando datos de preferencias reveladas y preferencias declaradas (Louviere et al., 2000).

Cabe señalar, que la estructura de decisión así modelada supone que el proceso generador de datos de ambas fuentes posee una distribución idéntica e independiente de valor extremo generalizado tipo I con diferentes factores de escala, pero con los mismos parámetros promedio de las variables que comparten ambos grupos y donde además existen otros parámetros no compartidos por ambos grupos de datos. Así, cada conjunto de datos puede ser modelado de manera apropiada por un modelo logit multinomial en el cual cada uno poseerá igual varianza pero entre ellos la varianza puede diferir.

En esta forma de modelación, ambos tipos de datos poseen un coeficiente de escala diferente y para la estimación de los parámetros del modelo habrá que fijar uno de los coeficientes de escala. Lo habitual es fijar el coeficiente de escala del grupo de preferencias reveladas, igualándolo a la unidad (normalización de los parámetros de escala), con lo cual el parámetro de escala de preferencias declaradas representa una escala relativa con respecto a la escala de preferencias reveladas. De esta manera, las funciones de probabilidad del modelo anidado siguen siendo válidas.



Por otra parte, a partir de la estimación de este modelo, pueden obtenerse las valoraciones de los ahorros de tiempo de viaje, tiempo de espera y cuerdas caminadas al usar autobús, como se expone en Sartori (2013) y en Sartori y Oviedo (2012).

Otra medida de bienestar derivada del modelo es el cambio en el excedente del consumidor asociado a diversas políticas a implementar. Siguiendo a Train (2009)<sup>8</sup>, puede calcularse el cambio en el excedente del consumidor que resulta de un cambio en las variables de nivel de servicio de las alternativas consideradas en el análisis. Para ello, se calcula la esperanza del excedente del consumidor considerando las condiciones de una situación base antes del cambio de las variables de política y se le resta la esperanza del excedente del consumidor después del cambio de las variables de política. En el modelo logit multinomial, la esperanza del excedente del consumidor es el logaritmo del denominador de la probabilidad de elección, llamado a menudo término logsum, que puede dividirse por el parámetro estimado asociado al costo de viaje, por ejemplo, para presentar la esperanza del excedente del consumidor en términos monetarios y suponiendo una utilidad marginal del ingreso constante e independiente del nivel de ingreso.

### **3. DISEÑO DEL EXPERIMENTO DE ELECCIÓN Y RELEVAMIENTO DE DATOS**

El diseño del experimento de preferencias declaradas de elección de modo de transporte consideró cinco alternativas de elección: automóvil, motocicleta, taxi, autobús, y la opción de “no elección”. Cabe señalar, que la opción de no elección incluye a los viajes caminando, en bicicleta y a los boletos educativos gratuitos (en el caso de viajes al lugar de estudio). 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 el modo de transporte autobús).

En base al diseño del experimento de elección, se utilizó el sistema de encuestas web en el sistema LimeSurvey disponible en la Universidad Nacional de Córdoba. La encuesta se dividió en dos grandes bloques de preguntas.

El primer bloque, incluyó preguntas socio-demográficas. En este bloque de preguntas los entrevistados informaron sobre la posesión de vehículo, número de vehículos en el hogar, combustible del vehículo utilizado habitualmente, indicó si estudia y/o trabaja y las características de sus viajes habituales al lugar de estudio y al lugar de trabajo, por ejemplo: lugar de origen del viaje, lugar de destino del viaje, costo de viaje, tiempo de viaje percibido, costo de estacionamiento, etc.

El segundo bloque, presentó los escenarios de elección. En este bloque se presentan al encuestado los 6 escenarios de elección resultantes de la aplicación de un diseño D-eficiente de elección de modo de transporte a partir de la especificación de un modelo logit multinomial con parámetros previos. Se trata, además, de un diseño promedio de los cuatro modelos o categorías de tenencia de vehículo particular. Los niveles de los atributos de las alternativas de elección, se establecieron considerando la realidad de la población de Córdoba, es decir, los tiempos de viaje, tiempos de espera, tarifas de transporte público, cuerdas caminadas en origen y destino y costos de estacionamiento considerados razonables y de acuerdo a niveles actuales existentes. Se consideraron tres niveles para cada uno de los atributos. El rango de variación de los niveles de los

---

<sup>8</sup> Ver Train (2009), páginas 55 a 57.

atributos resulta razonable en relación a la experiencia de los entrevistados, tratando de ampliarse lo más posible sin perder de vista esta característica que le otorga razonabilidad a cada elección a realizar. A los fines de hacer más realista el experimento de elección para cada uno de los entrevistados, se realizaron diseños experimentales para viajes de distinta longitud, a saber: 2 kms, 5 kms, 10 kms, 15

kms, 20 kms, 25 kms y 30 kms. El diseño del experimento de elección se realizó con el software N-gene versión 1.1.2 (Choicemetrics, 2009). Para profundizar en la metodología aplicada, se aconseja ver Sartori (2013).

Los atributos y niveles utilizados en el diseño del experimento de elección se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1** — Atributos y niveles del diseño del experimento de elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo

DISTANCIA DE VIAJE ————— 2,5 km

| Modo de transporte | Tiempo de viaje (minutos) | Tiempo de espera (minutos) | Costo de viaje |          |          | Cuadras caminadas en origen + desitno | Costo de estacionamiento diario |          |          |
|--------------------|---------------------------|----------------------------|----------------|----------|----------|---------------------------------------|---------------------------------|----------|----------|
| Automóvil          | - 4 10                    | - - -                      | \$ 3,00        | —        | \$ 5,00  | - - -                                 | \$ 0,00                         | \$ 25,00 | \$ 50,00 |
| Motocicleta        | - 6 10                    | - - -                      | \$ 1,00        | —        | \$ 2,00  | - - -                                 | \$ 0,00                         | \$ 7,50  | \$ 15,00 |
| Taxi               | - 4 8                     | 5 10 15                    | \$ 30,00       | \$ 40,00 | \$ 30,00 | - - -                                 | —                               | —        | —        |
| Autobus            | - 8 12                    | 10 20 30                   | \$ 6,00        | \$ 8,30  | \$ 11,00 | 2 4 6                                 | —                               | —        | —        |

DISTANCIA DE VIAJE ————— 5 km

| Modo de transporte | Tiempo de viaje (minutos) | Tiempo de espera (minutos) | Costo de viaje |          |          | Cuadras caminadas en origen + desitno | Costo de estacionamiento diario |          |          |
|--------------------|---------------------------|----------------------------|----------------|----------|----------|---------------------------------------|---------------------------------|----------|----------|
| Automóvil          | - 8 12                    | - - -                      | \$ 6,00        | \$ 8,00  | \$ 10,00 | - - -                                 | \$ 0,00                         | \$ 25,00 | \$ 30,00 |
| Motocicleta        | - 8 12                    | - - -                      | \$ 3,00        | \$ 4,00  | \$ 5,00  | - - -                                 | \$ 0,00                         | \$ 7,50  | \$ 15,00 |
| Taxi               | - 8 12                    | 5 10 15                    | \$ 45,00       | \$ 60,00 | \$ 75,00 | - - -                                 | —                               | —        | —        |
| Autobus            | 12 18 24                  | 10 20 30                   | \$ 6,00        | \$ 8,30  | \$ 11,00 | 2 4 6                                 | —                               | —        | —        |

DISTANCIA DE VIAJE ————— 10 km

| Modo de transporte | Tiempo de viaje (minutos) | Tiempo de espera (minutos) | Costo de viaje |           |           | Cuadras caminadas en origen + desitno | Costo de estacionamiento diario |          |          |
|--------------------|---------------------------|----------------------------|----------------|-----------|-----------|---------------------------------------|---------------------------------|----------|----------|
| Automóvil          | 15 20 25                  | - - -                      | \$ 12,00       | \$ 16,00  | \$ 20,00  | - - -                                 | \$ 0,00                         | \$ 25,00 | \$ 50,00 |
| Motocicleta        | 15 20 25                  | - - -                      | \$ 6,00        | \$ 8,00   | \$ 10,00  | - - -                                 | \$ 0,00                         | \$ 7,50  | \$ 15,00 |
| Taxi               | 15 20 25                  | 5 10 15                    | \$ 70,00       | \$ 100,00 | \$ 130,00 | - - -                                 | —                               | —        | —        |
| Autobus            | 25 35 45                  | 10 20 30                   | \$ 6,00        | \$ 8,30   | \$ 11,00  | 2 4 6                                 | —                               | —        | —        |

DISTANCIA DE VIAJE ————— 15 km

| Modo de transporte | Tiempo de viaje (minutos) | Tiempo de espera (minutos) | Costo de viaje |           |           | Cuadras caminadas en origen + desitno | Costo de estacionamiento diario |          |          |
|--------------------|---------------------------|----------------------------|----------------|-----------|-----------|---------------------------------------|---------------------------------|----------|----------|
| Automóvil          | 20 25 30                  | - - -                      | \$ 18,00       | \$ 24,00  | \$ 30,00  | - - -                                 | \$ 0,00                         | \$ 25,00 | \$ 50,00 |
| Motocicleta        | 20 25 30                  | - - -                      | \$ 9,00        | \$ 12,00  | \$ 15,00  | - - -                                 | \$ 0,00                         | \$ 7,50  | \$ 15,00 |
| Taxi               | 20 25 30                  | 5 10 15                    | \$ 100,00      | \$ 144,00 | \$ 185,00 | - - -                                 | —                               | —        | —        |
| Autobus            | 35 45 60                  | 10 20 30                   | \$ 6,00        | \$ 8,50   | \$ 11,00  | 2 4 6                                 | —                               | —        | —        |

DISTANCIA DE VIAJE ——— 20 km

| Modo de transporte | Tiempo de viaje (minutos) |    |    | Tiempo de espera (minutos) |    |    | Costo de viaje |           |           | Cuadras caminadas en origen + desitno |   | Costo de estacionamiento diario |         |          |          |
|--------------------|---------------------------|----|----|----------------------------|----|----|----------------|-----------|-----------|---------------------------------------|---|---------------------------------|---------|----------|----------|
| Automóvil          | 29                        | 34 | 39 | -                          | -  | -  | \$ 24,00       | \$ 32,00  | \$ 40,00  | -                                     | - | -                               | \$ 0,00 | \$ 25,00 | \$ 50,00 |
| Motocicleta        | 29                        | 34 | 39 | -                          | -  | -  | \$ 12,00       | \$ 16,00  | \$ 20,00  | -                                     | - | -                               | \$ 0,00 | \$ 7,50  | \$ 15,00 |
| Taxi               | 29                        | 34 | 39 | 5                          | 10 | 15 | \$ 130,00      | \$ 185,00 | \$ 240,00 | -                                     | - | -                               | —       | —        | —        |
| Autobus            | 46                        | 60 | 74 | 10                         | 20 | 30 | \$ 6,00        | \$ 8,50   | \$ 11,00  | 24                                    | 6 |                                 | —       | —        | —        |

DISTANCIA DE VIAJE ——— 25 km

| Modo de transporte | Tiempo de viaje (minutos) |    |    | Tiempo de espera (minutos) |    |    | Costo de viaje |           |           | Cuadras caminadas en origen + desitno |   | Costo de estacionamiento diario |         |          |          |
|--------------------|---------------------------|----|----|----------------------------|----|----|----------------|-----------|-----------|---------------------------------------|---|---------------------------------|---------|----------|----------|
| Automóvil          | 30                        | 40 | 45 | -                          | -  | -  | \$ 28,00       | \$ 40,00  | \$ 52,00  | -                                     | - | -                               | \$ 0,00 | \$ 25,00 | \$ 50,00 |
| Motocicleta        | 30                        | 40 | 45 | -                          | -  | -  | \$ 14,00       | \$ 20,00  | \$ 26,00  | -                                     | - | -                               | \$ 0,00 | \$ 7,50  | \$ 15,00 |
| Taxi               | 30                        | 40 | 45 | 5                          | 10 | 15 | \$ 160,00      | \$ 230,00 | \$ 300,00 | -                                     | - | -                               | —       | —        | —        |
| Autobus            | 56                        | 72 | 88 | 10                         | 20 | 30 | \$ 6,00        | \$ 8,50   | \$ 11,00  | 24                                    | 6 |                                 | —       | —        | —        |

Fuente: Elaboración propia.

Los datos utilizados para obtener los resultados de las estimaciones se conforman por 113 casos de preferencias reveladas y 678 casos de preferencias declaradas (113 individuos que respondieron seis escenarios de elección cada uno).

Debido a que los experimentos de elección de preferencias declaradas ejecutan la entrevista a un individuo que escoge en más de un escenario, una vez que se determina el tamaño de la muestra, la cantidad de encuestas a realizar surge de dividir el número de encuestas mínimas necesarias por la cantidad de escenarios independientes presentado a cada individuo encuestado.

Siguiendo a Louviere, et al (2000), la aplicación de muestreo aleatorio simple exige un tamaño mínimo de muestra dado por:

$$n \geq \frac{1}{r} \cdot \frac{z^2 \cdot p \cdot q}{e^2}$$

Dónde:

z: Es la inversa de la función de distribución acumulada normal para un nivel de confianza determinado. (1,95996398)

p: Proporción de éxitos de la población

(proporción de usuarios de un determinado medio de transporte = 0,5= q; Proporción de fracasos en la población (proporción de personas que no utilizan un determinado medio de transporte = 0,5)

e: Error muestral admisible en términos absolutos.

En total se recolectaron 113 encuestas de estudiantes a partir de las cuales se obtuvieron datos. Como cada estudiante respondió seis escenarios de elección, se obtuvieron 678 casos de preferencias declaradas para la estimación. Este número de encuestas arroja un error de muestreo del 1,53% con un nivel de confianza del 95%.

La muestra estuvo compuesta por estudiantes de todas las carreras de grado de la Facultad de Ciencias Económicas (FCE) de la Universidad Nacional de Córdoba, quienes, durante el mes de marzo de 2017 aportaron voluntariamente su dirección de correo electrónico para responder la encuesta de forma online a través del sistema Limesurvey. El proceso de muestreo consistió en pedir a los alumnos que ingresaban al edificio de la FCE que aporten voluntariamente



su dirección de correo electrónico para luego responder la encuesta.

El modelo especificado de elección de modo de transporte utilizando datos de preferencias reveladas y declaradas, consideró las siguientes funciones de utilidad determinísticas:

#### 4. RESULTADOS DE LA MODELACIÓN

##### Preferencias reveladas

$$\begin{aligned}
 V_{Auto} &= CEA_{Auto} + \beta_{TV} \cdot TV_{auto} + \beta_{cv} \cdot CV_{auto} \\
 V_{Moto} &= CEA_{Moto} + \beta_{TV} \cdot TV_{moto} + \beta_{CV} \cdot CV_{moto} \\
 V_{Taxi} &= CEA_{taxi} + \beta_{TV} \cdot TV_{taxi} + \beta_{CV} \cdot CV_{taxi} \\
 V_{Bus} &= CEA_{bus} + \beta_{TV} \cdot TV_{bus} + \beta_{CV} \cdot CV_{bus} \\
 V_{Otro} &= CEA_{Otro} + \beta_{dist} \cdot Dist
 \end{aligned}$$

##### Preferencias declaradas

$$\begin{aligned}
 V_{Auto} &= CEA_{Auto} + \beta_{TV} \cdot TV_{auto} + \beta_{cv} \cdot CV_{auto} + \beta_{ce} \cdot CE_{auto} + \beta_{ce} \cdot CE_{auto} \\
 V_{Moto} &= CEA_{Moto} + \beta_{TV} \cdot TV_{moto} + \beta_{CV} \cdot CV_{moto} + \beta_{ce} \cdot CE_{moto} \\
 V_{Taxi} &= CEA_{taxi} + \beta_{TV} \cdot TV_{taxi} + \beta_{CV} \cdot CV_{taxi} + \beta_{TE} \cdot TE_{taxi} \\
 V_{Bus} &= CEA_{bus} + \beta_{TV} \cdot TV_{bus} + \beta_{CV} \cdot CV_{bus} + \beta_{TE} \cdot TE_{bus} + \beta_{CC} \cdot CC_{bus} \\
 V_{Otro} &= CEA_{Otro} + \beta_{dist} \cdot Dist
 \end{aligned}$$

Las variables utilizadas son: tiempo de viaje (TV), costo de viaje (CV), tiempo de espera (TE), costo de estacionamiento (CE), cuadras caminadas en origen y destino para el modo de transporte “autobús” (CC), distancia de viaje (Dist). Las constantes específicas de las

diferentes alternativas se designaron por CEA. La Tabla 2 presenta los resultados obtenidos utilizando el software Biogeme (Bierlaire, 2003 y 2009). El modelo de preferencias declaradas consideró residuos con estructura de panel de respuestas repetidas por individuo.

**Tabla 2** — Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte - estimado con datos de preferencias reveladas y declaradas

| NOMBRE DEL PARÁMETRO   | VALOR   | ERROR ESTÁNDAR | TEST T-STUDENT | P-VALORP | ERROR ESTÁNDAR ROBUSTO | TEST T-STUDENT ROBUSTO | -VALOR |
|------------------------|---------|----------------|----------------|----------|------------------------|------------------------|--------|
| $CEA_{Auto}$           | -2,14   | 0,729          | -2,93          | 0,00     | 0,783                  | -2,73                  | 0,01   |
| $CEA_{Bus}$            | -2,78   | 0,659          | -4,21          | 0,00     | 0,673                  | -4,13                  | 0,00   |
| $CEA_{Moto}$           | -4,21   | 0,954          | -4,41          | 0,00     | 1,35                   | -3,12                  | 0,00   |
| $CEA_{Otro}$           | 0,00    | Fijo           |                |          |                        |                        |        |
| $CEA_{Taxi}$           | -4,9    | 0,97           | -5,05          | 0,00     | 0,928                  | -5,28                  | 0,00   |
| $\beta_{CC}$           | -0,0372 | 0,054          | -0,69          | 0,49     | 0,0488                 | -0,76                  | 0,45   |
| $\beta_{CE}$           | -0,0388 | 0,00835        | -4,64          | 0,00     | 0,00808                | -4,8                   | 0,00   |
| $\beta_{CV}$           | -0,0167 | 0,00525        | -3,15          | 0,00     | 0,00844                | -1,98                  | 0,00   |
| $\beta_{TE}$           | -0,0488 | 0,013          | -3,76          | 0,00     | 0,013                  | -3,74                  | 0,05   |
| $\beta_{TV}$           | -0,03   | 0,0119         | -2,51          | 0,01     | 0,00993                | -3,02                  | 0,00   |
| $\beta_{dist}$         | -1,3    | 0,256          | -5,08          | 0,00     | 0,251                  | -5,17                  | 0,00   |
| $\beta \sigma_{panel}$ | 6,75    | 1,39           | 4,86           | 0,00     | 1,36                   | 4,98                   | 0,00   |
| $\theta$               | 1,06    | 0,182          | 5,84           | 0,00     | 0,157                  | 6,78                   | 0,00   |

|                          |       |                                |         |                       |     |
|--------------------------|-------|--------------------------------|---------|-----------------------|-----|
| Número de observaciones: | 791   | Long de verosimilitud inicial: | -943,62 | Número de individuos: | 113 |
| Rho cuadrado:            | 0,485 | Long de verosimilitud final:   | -485,82 |                       | —   |
| Rho cuadrado ajustado:   | 0,472 | Razón de verosimilitud:        | 915,59  |                       | —   |

VSATV (\$/min)\*: 1,79

||

VSATE (\$/min)\*: 2,92

VSACC (\$/cuadra)\*: 2,6754

Notas aclaratorias: (\*) VSATV: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje. VSATE: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de espera. VSACC: Valoración subjetiva de los ahorros de cuadras caminadas en origen o destino.

Fuente: Elaboración propia.

El modelo estimado presenta un muy buen grado de ajuste general, a juzgar por el rho cuadrado ajustado obtenido. Todos los coeficientes estimados poseen el signo esperado y la mayoría poseen buenos niveles de significación (menores o iguales a 5 por ciento), a excepción del coeficiente de la variable “cuadras caminadas en origen y destino” para el modo de transporte “autobús” que presentó un p-valor de 0,45. Además, el parámetro de escala de los datos de preferencias declaradas ( $\theta=1/\mu$ ) es significativo y mayor a la unidad, confirmando que la variabilidad de los datos de preferencias declaradas es mayor a la de los datos de preferencias reveladas.

Se han estimado las valoraciones subjetivas de los ahorros de tiempo de

viaje y espera, presentándose también la valoración subjetiva de las disminuciones de cuadras caminadas en origen y destino al utilizar el autobús, aunque este último cálculo puede no ser confiable dado que el parámetro asociado a la variable cuadras caminadas posee un p-valor de 0,45.

A partir de estos resultados puede estimarse la probabilidad de uso de los diferentes modos de transporte a medida que cambian los valores de las variables explicativas del modelo. En este caso se presentarán como cuotas de mercado, es decir, en porcentajes.

En la Tabla 3 se presentan los pronósticos de la cuota de mercado correspondiente al uso de cada uno de los modos de transporte considerados en el análisis, suponiendo una situación base y cuatro

situaciones hipotéticas, a saber: la situación 1 presenta una disminución de la tarifa de autobús del 20%, la situación 2 presenta una disminución del tiempo de viaje en autobús del 20%, la situación 3 presenta una disminución del tiempo de espera del autobús del 20% y la situación 4 presenta una disminución del tiempo de viaje en autobús y un aumento del tiempo de viaje en auto, de acuerdo a una política de tránsito que beneficie al autobús, como podría ser la implementación de

corredores solo bus de tránsito rápido de buses. Los pronósticos se realizaron aplicando el método de enumeración muestral. A partir de estos pronósticos se calcularon las elasticidades de demanda de uso de los diferentes modos de transporte. Además, comparando cada una de estas situaciones con la situación base, se obtuvieron los cambios en el excedente del consumidor derivados del modelo logit estimado.

**Tabla 3** — Pronósticos del modelo, elasticidades de demanda y cambios en el excedente del consumidor

|                                                                     | SITUACIÓN BASE | SITUACIÓN 1<br>(Disminución<br>tarifa<br>bus = 20 %) | SITUACIÓN 2S<br>(Disminución<br>tiempo de<br>viaje<br>bus = 20 %) | ITUACIÓN 3S<br>(Disminución<br>tiempo de<br>espera<br>bus = 20 %) | ITUACIÓN 4<br>(Disminución<br>tiempo de viaje<br>bus = 20 %<br>y Aumento<br>tiempo de viaje<br>en auto = 20 %) |
|---------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Uso de automóvil                                                    | 44,67 %        | 44,46 %                                              | 43,19 %                                                           | 43,58 %                                                           | 41,42 %                                                                                                        |
| Uso de motocicleta                                                  | 12,00 %        | 11,92 %                                              | 11,42 %                                                           | 11,55 %                                                           | 12,02 %                                                                                                        |
| Uso de taxi                                                         | 0,70 %         | 0,69 %                                               | 0,88 %                                                            | 0,68 %                                                            | 0,70 %                                                                                                         |
| Uso de autobus                                                      | 16,19 %        | 16,54 %                                              | 18,42 %                                                           | 18,12 %                                                           | 19,33 %                                                                                                        |
| Uso de algún otro modo                                              | 26,44 %        | 26,38 %                                              | 26,28 %                                                           | 26,08 %                                                           | 26,52 %                                                                                                        |
| <b>Elasticidad de la<br/>demanda de uso de:</b>                     |                |                                                      |                                                                   |                                                                   |                                                                                                                |
| Automóvil                                                           | —              | 0,016                                                | 0,166                                                             | 0,122                                                             | —                                                                                                              |
| Motocicleta                                                         | —              | 0,022                                                | 0,241                                                             | 0,189                                                             | —                                                                                                              |
| Taxi                                                                | —              | 0,017                                                | 0,108                                                             | 0,160                                                             | —                                                                                                              |
| Autobus                                                             | —              | -0,073                                               | -0,691                                                            | -0,595                                                            | —                                                                                                              |
| Otro modo                                                           | —              | 0,008                                                | 0,030                                                             | 0,068                                                             | —                                                                                                              |
| Variación en el Exce-<br>den te del Consumidor<br>(\$ / consumidor) | —              | 0,283                                                | 1,841                                                             | 1,490                                                             | -0,676                                                                                                         |

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican que, a partir del desarrollo del modelo de elección de modo de transporte y considerando el efecto que provocarían mejoras en variables de nivel de servicio del autobús (tarifa, tiempo de viaje y tiempo de espera), existe una mayor sensibilidad de la demanda de uso de motocicleta que de los otros modos de transporte. Es decir, las elasticidades de la

demanda de uso de vehículos particulares (automóvil y motocicleta) en relación a los cambios en las variables de nivel de servicio del autobús, aunque menores a la unidad, indican que existe un grado de sensibilidad no despreciable que deberá considerarse seriamente a la hora de diseñar políticas de transporte público. Por otra parte, observando los escenarios

de situación 1 a 3, los resultados del cambio en el excedente del consumidor de mejorar en un 20% cada una de las variables consideradas de nivel de servicio del autobús indican que la disminución del tiempo de viaje del autobús provoca los mayores aumentos en el excedente del consumidor. Asimismo, observando el escenario de situación 4, una política que provoque conjuntamente una disminución de los tiempos de viaje en autobús del 20% y un aumento de los tiempos de viaje en automóvil del mismo porcentaje, provocará una disminución del excedente del consumidor.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- BEN-AKIVA, M., Y MORIKAWA, T. (1990). Estimation of switching models from revealed preferences and stated intentions. *Transportation Research Part A: General*, 24(6), 485-495.
- BEN-AKIVA, M., & LERMAN, S. (1985). *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand* (Vol. 9). MIT press.
- BIERLAIRE, M. (2003). BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models. En *Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference*.
- BIERLAIRE, M. (2009). Estimation of discrete choice models with BIOGEME 1.8 [document en línea]. Transport and Mobility Laboratory, École Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- CHOICEMETRICS (2009). NGene 1.0. User Manual & Reference Guide. The cutting edge in experimental design.
- LOUVIERE, J., HENSHER, D. & SWAIT, J. (2000). *Stated Choice Methods. Analysis and Application*. Cambridge University Press.
- LUCE, R. D. (1959). *Individual Choice Behavior: A Theoretical Analysis*. New York: Wiley.
- MANSKI, C. (1977). The Structure of Random Utility Models. *Theory and Decision*, 8(3), 229-254.
- ORTÚZAR, J. DE D. Y WILLUMSEN, L. G. (1994). *Modelling Transport*. Ed. Wiley. Second edition.
- SARTORI, JUAN J. P. (2013). Estimación de la demanda de viajes al trabajo utilizando modelos de elección de modo de transporte y de elección conjunta de modo de transporte y tenencia de vehículo particular en la Ciudad de Córdoba - Argentina. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Córdoba.
- SARTORI, JUAN J. P. & OVIEDO, JORGE M. (2012). Estimación de la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje y espera en la Ciudad de Córdoba (Argentina), XLVII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política, Universidad Nacional de la Patagonia "San Juan Bosco" - Trelew, Argentina.
- TRAIN, K. (2009). *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge University Press, UK.