



Análisis y estimación de la oferta de carpooling en CABA mediante Modelos de Selección Discreta

EMILIO PUGNALONI – MARIANO BONOLI – MARIA STEWART HARRIS- EMILIO PICASSO
Pontificia Universidad Católica Argentina

emiliopugnaloni@uca.edu.ar - mbonoli@fi.uba.ar - mariastewart@uca.edu.ar - epicasso@uca.edu.ar

RESUMEN

Las congestiones de tránsito en el ingreso a las grandes ciudades es un problema del cual la Ciudad de Buenos Aires no está exenta. Una solución a esta problemática es que varias personas que viajan solas en sus autos opten por el *carpooling*.

El presente trabajo tuvo el objetivo de evaluar el interés de las personas por ser oferentes en una plataforma de carpooling, en donde ofrecerían llevar a personas desde el GBA hacia CABA por una compensación del costo. La metodología se basó en la aplicación de modelos de selección discreta a una muestra proveniente de una encuesta realizada *ad-hoc*. Los resultados muestran el gran interés por ser oferentes del servicio, así como su sensibilidad al tiempo y costo.

Palabras Clave: estadística – elección – discreta – estimación – oferta – *carpooling*

ABSTRACT

Traffic congestion at the entrance to large cities is a problem from which the City of Buenos Aires is not exempt. A solution to this problem is that a large number of commuters opt for carpooling instead of driving alone in their cars.

The present work had the objective to evaluate people's interest in being bidders in a carpooling platform, where they would offer to take people from the GBA to CABA by sharing the travel cost. The methodology was based on the application of Discrete Choice Models to a sample from an ad-hoc survey. The results show that commuters are highly interested in providing this service, as well as their sensitivity to time and cost.

Key Words: statistics – discrete – choice – supply – estimation – Carpooling

1. INTRODUCCIÓN

La congestión de tránsito y la contaminación del aire se han vuelto un problema alrededor de varias ciudades del mundo desde el siglo pasado, con severidades aún mayores en las últimas décadas. En este escenario, Buenos Aires no es la excepción.

Gran parte de las congestiones son a causa del caudal de autos que ingresan diariamente a la ciudad desde los alrededores. Automóviles que muchas veces ingresan con una única persona dentro, sobre todo en aquellos horarios coincidentes con el inicio y fin de la jornada laboral. Surge ante este interés de las personas por el confort y la flexibilidad que representa este medio, sumado a los problemas de movilidad a causa del volumen de autos en circulación: la alternativa de que varias personas que viajan solas compartan el viaje en un único auto. Esta idea de agrupar varias personas en un mismo transporte, reduciendo así la cantidad de conductores, y



por ende vehículos, se la conoce como *carpooling* y ha sido promovida por las autoridades de distintos países como una solución a la demanda de transporte (Chan and Shaheen, 2012).

Entre los beneficios a los que acceden quienes lo utilizan se puede mencionar: menores costo del viaje al compartirse los gastos de este, menores tiempos de viaje como resultado de acceder a los carriles rápidos exclusivos para autos con pasajeros (*HOV* en inglés) y un viaje cómodo y seguro. Gracias a ello, el *carpooling* es visto como una muy buena alternativa por aquellas personas que se movilizan en transporte público: pues se transportarían más rápido y con mayor confort; y con un precio más elevado, pero no tanto como lo que le insumirían mantener un auto y abonar individualmente la totalidad del viaje (Teal, 1986). Surge ante esto, la necesidad de estimar el interés de las personas por optar por esta forma de viaje compartido.

Considerada una aplicación de *dynamic ridesharing*, en donde los conductores de los automóviles ofrezcan sus autos para llevar a otras personas desde el GBA hacia Capital Federal, el presente trabajo tiene los objetivos de: 1) Evaluar el interés de las personas por ser conductores de *carpools*; 2) Analizar el perfil de personas más propensas a ser oferentes de *carpooling*. El término oferentes de *carpooling* hace referencia a los conductores de estos, quienes son los que en una plataforma de *carpooling* ofrecen sus automóviles para que los pasajeros (la parte demandante) viaje en estos.

La metodología de la investigación se basa en la aplicación de los Modelos de Selección Discreta (*Discrete Choice Models*), los cuales permiten analizar y predecir las decisiones de individuos frente a un conjunto finito de alternativas excluyentes y colectivamente exhaustivas (Koppelman and Bhat, 2006). Sobre ellos tratará la sección 2.1, quienes se estimaron utilizando el lenguaje de programación R con el paquete estadístico *Apollo*. Estos modelos se empezaron aplicando a la estimación de la demanda de transporte (Mc Fadden, 1973) y luego se generalizaron y aplicaron en distintos entornos donde se evidencien elecciones con alternativas mutuamente excluyentes. La muestra utilizada para la aplicación de los *DCM* es sobre los resultados obtenidos de una encuesta realizada por la UCA en 2017, en donde se enfrentaba a los encuestados a un experimento de selección discreta sobre la alternativa de viaje a elegir. Lo último se profundizará en la sección 2.2.

2. DESARROLLO

2.1. Modelos de Selección Discreta

Los modelos de selección discreta pueden usarse para analizar y predecir las decisiones de individuos frente a un conjunto finito de alternativas excluyentes y colectivamente exhaustivas (Koppelman *et al.*, 2006). Estos permiten relacionar estadísticamente las elecciones realizadas por las personas, con las características propias del individuo decisor y los atributos de las alternativas disponibles; y a partir de estas relaciones, se puede estimar la probabilidad de que una persona elija un determinado transporte, así como detectar el efecto de cada elemento en la elección del consumidor.

Estos modelos utilizan el concepto de la utilidad máxima aleatoria (Thurstone, 1927), que establece que los individuos decisores eligen la alternativa de la máxima utilidad, siendo la utilidad un escalar que es función de las características de las alternativas y del individuo, y de una componente aleatoria que representa los atributos no observables. La función de utilidad para cada alternativa i de cada tarea t del individuo n se representa como (Train, 2003):



$$\tilde{U}_{int} = \beta'_n x_{int} + \tilde{e}_{ijt}$$

Donde

\tilde{U}_{int} : Utilidad de la alternativa i para el individuo n en la tarea de selección t.

x_{in} : Vector de variables que describen las características de la alternativa i para el individuo n en la tarea de selección t.

β : Vector k-dimensional que define la importancia (utilidad) del vector de variables x.

\tilde{e}_{ijt} : Componentes aleatorias con distribución iid Gumbel del máximo.

Hay diversos tipos de Modelos de Selección Discreta que utilizan el método de la Utilidad Máxima Aleatoria, entre ellos los *Mixed Logit Model*. Estos tienen en cuenta la heterogeneidad en la población y lo hacen a partir de considerar que los coeficientes β siguen una distribución a través de ella. La probabilidad de cada individuo para cada alternativa es:

$$P_{ni} = \int \prod_{t=1}^T \frac{\exp(\beta' x_{int})}{\sum_{i=1}^I \exp(\beta' x_{int})} f(\beta | \theta) d\beta$$

Donde $f(\beta | \theta)$ es la distribución mixta o función densidad de los coeficientes β a partir de sus parámetros estructurales θ . En el presente trabajo se utilizaron distribuciones Normales y Log-Normales según el caso. Esta función de probabilidad no es de forma cerrada, por lo que es necesario simulación numérica. Aun así, estos modelos son más realistas que los básicos *Multinomial Logit Model* al admitir heterogeneidad en la población, correlaciones entre alternativas y la no restricción a la propiedad de Independencia de Alternativas Irrelevantes (IIA) (Train, 2003).

Para la estimación de los modelos MXL se utiliza el método de la Máxima Verosimilitud Simulada (*Simulated Maximum Likelihood*), quien busca encontrar por medio de simulación numérica los parámetros θ que hagan máxima la probabilidad de obtener la muestra de elecciones observadas (Train, 2003).

2.2. Datos

La muestra utilizada en este informe proviene de un experimento de selección realizado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Argentina (UCA) durante el año 2017, el cual tenía como objetivo el diseño de una encuesta para evaluar la oferta y la demanda de una red de carpooling en Buenos Aires. Esta fue publicada en un panel encuestador de la web y también difundida por los integrantes encargados del diseño de la encuesta, lo que genera una muestra no probabilística. Con fines de simplificación, y dado el alcance de este trabajo, solo se mencionarán las características de la parte oferente de la encuesta.

La población objetivo de la parte oferente eran aquellas personas que cumplieran las siguientes características: 1) Son residentes del GBA; 2) Viajan en Hora Pico; 3) Viajan en dirección a CABA al menos 1 vez por semana; 4) No se trasladan generalmente como acompañante en el vehículo; 5) Poseen automóvil, usarlo habitualmente y no estar dispuesto a dejar de usarlo.

En total, 370 personas completaron la encuesta. A estas se las enfrentaban a preguntas sociodemográficas, de su viaje más frecuente a CABA, explicativas (donde se analizaba su interés por el auto, individualidad y perfil ecológico) y a un experimento de selección discreta.

El experimento de selección discreta consistía en mostrarle al encuestado T= 15 escenarios de viaje en distintas condiciones de tiempos y costos, en los que debía



elegir la alternativa que escogería si se encontrara en esa situación en la vida real (Figura 1).

| ¿En qué medio de transporte viajarías a la Capital en estas condiciones de tiempos y costos? | | | | |
|--|----------|-----------------|---------|------------------|
| | Auto (1) | Car Pooling (2) | Charter | Colectivo / Tren |
| Tiempo de viaje | 80 min | 89 min | 102 min | 149 min |
| Costo | \$ 126 | \$ 0 | \$ 84 | \$ 21 |

Figura 1. Ilustración de lo que veía el encuestado en cada escenario de viaje, para el cual debía escoger en cada caso el medio que utilizaría. En este escenario el costo del carpooling era 0\$, la compensación era del 100%

Las alternativas disponibles eran las que usualmente usan las personas para viajar desde el conurbano hasta CABA: Auto, Charter y Transporte Público (Colectivo y/o Tren); y la nueva opción como conductor de *Carpooling*. Los tiempos y costos de cada alternativa que se mostraban variaban en cada escenario, oscilando alrededor de los valores del viaje que declararon como más frecuente. A estos valores de tiempo y costo del viaje más frecuente se los denominó tiempos base y costos base; y eran calculados para cada individuo. Para el caso del *carpooling* se estableció un costo base igual al del auto, menos una compensación base del 40% del costo del auto sin incluir el precio del estacionamiento; y el tiempo base, igual al tiempo base en auto menos un ahorro de tiempo por usar las líneas *HOV*, limitado a 15 min.

Los tiempos de las 4 alternativas y los costos del Auto, Charter y Transporte Público que se les mostraba a los encuestados podían adoptar 5 valores: el valor base y variaciones de -30%, -15%, +15% y +30% de estos. Mientras que en el caso del costo del *carpooling*, los 5 valores posibles eran con los valores de compensación: compensación base y las variaciones de -100%, -50%, +50% y +100% de esta.

Debido a que existen $8^5 = 32.728$ posibles combinaciones de tiempos y costos y solo se utilizan una fracción de ellas (solo 15): se realizó un diseño fraccional factorial para la óptima selección de combinaciones. Para ello se utilizó el paquete estadístico de R DOE (*Design of experiments*).

Una vez terminada la encuesta, se recolectaron los datos y se realizaron las transformaciones convenientes para los análisis.

2.3. Discusión de Resultados

Las alternativas fueron seleccionadas con las siguientes frecuencias empíricas especificadas: Auto 20% - *Carpool* 37% - Chárter 13% - Transporte Público 30%. En estas se puede apreciar el gran interés por el *carpooling* bajo las condiciones de ahorro de tiempo y costo establecidas.

En primer lugar, se estimó un modelo simple con las variables explicativas de tiempo, costo y modo de viaje: *Carpooling*, Chárter y Transporte Público, obteniéndose los resultados de la Tabla 1. La alternativa del auto se dejó como referencia, de modo que las de las demás alternativas se reinterpreten como la diferencia entre ellas y la del auto. A las primeras dos (tiempo y costo) se le asignó una distribución log-normal, de modo que el valor negativo de esta represente la desutilidad de un aumento en el tiempo y costo del viaje; y a las relacionadas al modo de viaje una distribución Normal. El logaritmo de verosimilitud alcanzada fue de -3.496.



En cuanto a los resultados, todos los parámetros resultaron significativos. Si se observan las variables propias de las alternativas, las medias de estas son negativas, lo que indica que la mayoría de la población prefiere viajar en auto que en otro medio. Luego el orden de preferencias es hacia el *Carpool*, Chárter y Transporte Público en orden decreciente. Además, debido a que estas tres siguen una distribución Normal, al contar con los estimadores de la media y el desvío se puede construir su función de distribución para así ver su heterogeneidad en la población (Figura 2). De estas se puede concluir que sacando las consideraciones de tiempo y costo: el 38% prefiere viajar en *carpool* versus el auto, el 23% prefiere el viaje en chárter a en auto y el 20% en transporte público versus en auto.

Pasando a las variables de Tiempo y Costo, los valores que se muestran en la Tabla 1 son los de la normal asociada a la log-normal, quienes eran estimadas por el *software*. Los parámetros log-normales (μ , σ) estimados para las variables de tiempo y costo son: Tiempo (40.8, 55.2) y Costo (85.8, 159.7). A partir de los coeficientes de tiempo y costo se puede obtener el precio de cuánto está dispuesto a pagar una persona por un minuto más de viaje, o también llamado *Willing to Pay (WTP)*, este se calcula a partir de dividir los parámetros de tiempo y costo. Debido a que ambas son variables aleatorias con distribución log-normal, *WTP* tendrá también esta distribución. Se procedió a calcular la mediana de esta a partir de los parámetros estimados de su normal asociada, dando como resultado 1.68\$Ar2017/min. Pasado a unidades de dólar por hora se tiene 5,64 U\$S/h, menor que las estimaciones de 6.26U\$S/h en Estados Unidos (Koppelman and Bhat; 2006).

Luego, se estimó un segundo *Mixed Logit Model* que pretendía averiguar cómo influían determinadas características de los individuos en la probabilidad de elegir el *carpooling*. Para ello se incluyeron en la utilidad del *carpooling* las siguientes cinco variables con sus respectivos parámetros: Joven (variable *dummy* indicativa de las personas de menores a 30 años), Adulto (variable *dummy* indicativa de las personas mayores a 50 años), NSE Bajo (variable *dummy* indicativa de las personas con Nivel Socioeconómico D1 e inferiores), Pasión por el Auto (variable con un rango de -15:15 en la que puntuaba a las personas por su nivel de pasión por el auto) y Motivo Trabajo (variable *dummy* indicativa de las personas se movilizaban por temas relacionados al trabajo / universidad). El modelo se estimó con un máximo de verosimilitud (logaritmo) de -3.474, menor que el modelo anterior, dada la mayor capacidad explicativa. Los resultados de la estimación de los parámetros sociodemográficos se presentan en la Tabla 2 (se omiten los relativos al tiempo, costo y modo de viaje), en la que se observa la significatividad de los parámetros. Además, dada la naturaleza de los parámetros estimados se puede concluir que: las personas más jóvenes, con un Nivel Socioeconómico bajo, que viajan a CABA con motivos relacionados al trabajo o universidad y que son interesados por los automóviles tiene mayor probabilidad de elegir la alternativa del *carpooling*; mientras que a medida que aumenta la edad la utilidad por el *carpooling* decrece.

Por último, se utilizó un modelo Logit (*MNL*) con el objetivo de ver la variación del *choice share* según cambios en la compensación que recibe el conductor del *carpool*, esto se presenta en la Figura 3. Para ello, se utilizaron los parámetros estimados y se predijo la elección de las personas de la encuesta en un escenario con los costos y tiempos del viaje sus viajes más frecuentes. Para el *carpooling*: se desestimaron los ahorros de tiempo de una línea *HOV*; y se fue variando el porcentaje de la compensación (calculado como el porcentaje del costo del viaje en auto sin considerar la tarifa de estacionamiento). En la gráfica, se puede observar cómo aumenta la probabilidad de elección hacia el *carpooling* (y disminuyen las de las otras 3 alternativas) a medida que aumenta la compensación; así como el efecto contrario cuando disminuye el porcentaje de compensación.



| Variable | Parámetro | Valor | Std. Error | p.value |
|--------------------|---------------|-------|------------|---------|
| Carpool | Media | -0,69 | 0,15 | <0.001 |
| | Desvio | 2,42 | 0,17 | <0.001 |
| Chárter | Media | -1,58 | 0,22 | <0.001 |
| | Desvio | -2,16 | 0,21 | <0.001 |
| Transporte Público | Media | -2,30 | 0,23 | <0.001 |
| | Desvio | -2,77 | 0,23 | <0.001 |
| Tiempo | Media del ln | -3,19 | 0,07 | <0.001 |
| | Desvio del ln | -1,02 | 0,04 | <0.001 |
| Costo | Media del ln | -3,70 | 0,08 | <0.001 |
| | Desvio del ln | 1,22 | 0,05 | <0.001 |

Tabla 1. Resultados de la estimación del modelo MXL simple.

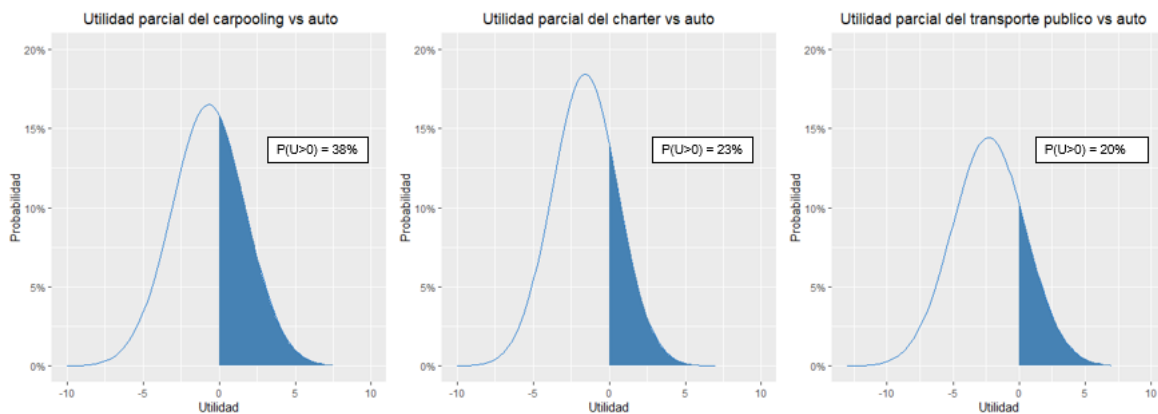


Figura 2. Distribución (Normal) de las variables de modo de viaje: Carpooling, Chárter y Transporte Público.

| Parámetro | Valor | Std. Error | p.value |
|----------------|-------|------------|---------|
| Joven | 0,67 | 0,30 | 0,0118 |
| Adulto | -1,20 | 0,50 | 0,0078 |
| NSE Bajo | 0,57 | 0,40 | 0,0777 |
| Pasión Auto | 0,11 | 0,03 | <0.001 |
| Motivo Trabajo | 1,91 | 0,37 | <0.001 |

Tabla 2. Resultados de la estimación de los parámetros sociodemográficos de un modelo MXL que además contiene las variables de: tiempo, costo y modo de viaje.

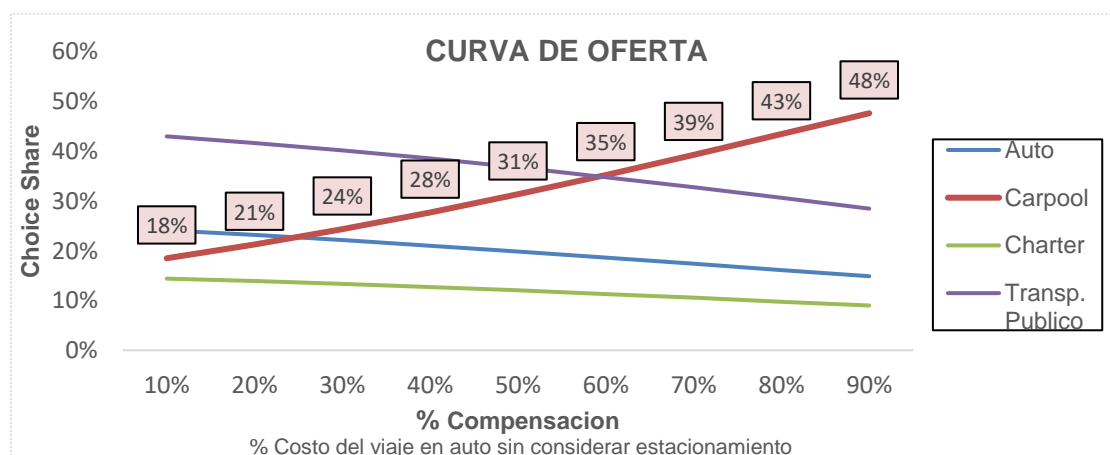


Figura 3. Probabilidad de selección de las distintas alternativas a distintos niveles de compensación. La recta del carpooling representa la curva de oferta del servicio.



3. CONCLUSIONES

El *carpooling* resulta ser una alternativa muy interesante para las personas que se dirigen en auto hacia la Ciudad de Buenos Aires, la alta frecuencia de elecciones muestra que los conductores ven con atractivo ser oferentes de una plataforma de *carpooling*.

Los ahorros de tiempo y costo que logran los conductores al compartir el viaje son bien recibidos. Además, por fuera de estos beneficios y los tiempos y costos del viaje, parecen tener preferencia por el *carpooling* que por alternativas más tradicionales como el transporte público y el chárter. No ocurre lo mismo con el hacerlo solo en el automóvil, modo de viaje con mayor utilidad.

Asimismo, una alternativa del *carpooling* sin ahorros de tiempo y con una menor compensación, la hace aun así un modo de viaje interesante. Esto se vio en la curva de oferta, la cual muestra la mayor probabilidad de elección del *carpooling* al aumentar el porcentaje de compensación que se recibe. Esta curva de oferta abre el potencial para generar un análisis de equilibrio de oferta y demanda, en la cual se encuentre el punto de compensación óptimo para el servicio.

Por último, enfocándonos en las características individuales de los encuestados, se encontró que la probabilidad de elegir esta alternativa de viaje decrece a medida que aumenta la edad de la persona. Siendo que las personas más jóvenes son más afines al *carpooling* que las más adultas. Además, las personas con un nivel socioeconómico bajo, que se desplazan a la Ciudad de Buenos Aires por motivos relacionados al trabajo o la universidad y son interesados por los autos tienen más probabilidad de inclinarse por este medio de transporte.

4. REFERENCIAS

- CHAN ND, SHAHEEN AS (2012): "Ridesharing in North America: past, present and future", *Transport Reviews*, 32.1.; 93-112
- KOPPELMAN AND BHAT (2006): *A Self Instructing Course in Mode Choice Modeling: Multinomial and Nested Logit Models*. U.S. Department of Transportation Federal Transit Administration
- MC FADDEN D. (1973): "Conditional logit analysis of qualitative choice behavior". In Zarembka P. (ed.): *Frontiers of Econometrics*, Academic Press, New York.
- TEAL (1986): "Carpooling: Who, how and why", *Transportation Research Part A: General*, Volume 21, Issue 3, Pages 203-214.
- THURSTONE L.L. (1927): "A law of comparative judgment". *Psychological Review*, 34, 273-286.
- TRAIN K.E. (2003): *Discrete choice methods with simulation*. Cambridge Univ. Press