

## CARPOOLING DESDE LA PERSPECTIVA DEL CONDUCTOR - UN EXPERIMENTO DE SELECCIÓN

EMILIO PUGNALONI<sup>1</sup> - MARIANO BONOLI ESCOBAR<sup>2</sup> - MARÍA STEWART HARRIS<sup>1</sup> - EMILIO  
PICASSO<sup>1,2</sup>

Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Universidad Católica Argentina. Ciudad de  
Buenos Aires, Argentina.

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

Fechas recepción: agosto 2022 - Fecha aprobación: abril 2023

ARK CAICYT: <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18539777/iyqrx52ev>

### RESUMEN

La ciudad de Buenos Aires, al igual que otras grandes metrópolis, sufre un incesante aumento de la congestión de sus principales vías de acceso. Ante esta problemática, que varios conductores en solitario opten por el *carpooling*, de modo de aliviar el tránsito vehicular, constituye una posible solución.

El presente trabajo continúa el de Picasso, Bonoli Escobar y Cosatto Ammann (2020) "Evaluación de una plataforma de *carpooling* mediante experimentos de selección", con el objetivo de analizar el interés de los habitantes de la Ciudad de Buenos Aires de ser oferentes de un potencial sistema de *carpooling*. La metodología se basó en la aplicación de Modelos de Selección Discreta a una muestra representativa proveniente de una encuesta realizada *ad hoc*, en donde se enfrentaba a las personas a un experimento de selección que incluía al *carpooling* junto con las alternativas de transporte existentes. Los individuos debían elegir qué alternativa escogerían en una serie de escenarios con diferentes atributos de tiempo y costo de viaje para cada medio de transporte, para luego determinar el atractivo y viabilidad del sistema. Se encontró que el *carpooling* tiene una alta probabilidad de elección en la población, sobre todo en los jóvenes y aquellos que viajan con más asiduidad a la ciudad.

**PALABRAS CLAVE:** *Carpooling* - Transporte urbano - Experimento de selección  
- Modelo de selección discreta.

### ABSTRACT

The city of Buenos Aires, like other large metropolis, suffers the increasing of congestion on its main access routes and highways. Carpooling has been proposed to alleviate this problem.

The present article continues the one from Picasso, Bonoli Escobar and Cosatto Ammann (2020) "Evaluación de una plataforma de carpooling mediante

---

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Católica Argentina

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

experimentos de selección”, with the objective of evaluating people interest in bidding in a potential carpooling system. The methodology is based on the application of Discrete Choice Models to a sample from an ad-hoc survey, where people face a choice experiment including carpooling besides the existing travel modes. The individuals were exposed to various choice sets with carpooling besides the existing travel modes at different travel time and cost, for them to choose the preferred alternative. The results show that commuters are highly interested in offering their cars for carpooling for an adequate compensation, especially young people and those who travel more frequently to the city.

**KEYWORDS:** Carpooling - Urban transportation - Choice experiment - Discrete choice model.

## 1. INTRODUCCION

La congestión de tránsito es uno de los grandes problemas de las ciudades modernas. En efecto, además de generar contaminación<sup>3</sup>, es causa de una importante insatisfacción para la población debido al tiempo perdido. La ciudad de Buenos Aires no es ajena a este problema. El incesante aumento del número de vehículos particulares, junto con la tendencia de las personas a mudarse lejos de los centros urbanos y laborales ha agravado este fenómeno, especialmente en los horarios de mayor afluencia. Según datos oficiales en la Argentina, actualmente se encuentran en circulación 14.8 millones de automóviles, de los cuales 1.5 millones se encuentran registrados en la Ciudad de Buenos Aires, y una cifra mayor en los alrededores del conglomerado urbano. El *carpooling* puede paliar este problema reduciendo la cantidad de vehículos que transitan entre el conurbano y la ciudad durante las horas pico. Sin embargo, para hacerlo viable no sólo es necesario que la gente esté dispuesta a dejar de lado su automóvil para viajar como pasajeros, sino también que haya automóviles disponibles a tal efecto.

Según fuentes oficiales (INDEC, 2020), en los 3880 km<sup>2</sup> del área metropolitana de Buenos Aires viven unos 13.9 millones de personas: unos 3.1 millones habitan en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (de 200 km<sup>2</sup>) mientras que los 10.8 millones restantes lo hacen en el Gran Buenos Aires (de 3680 km<sup>2</sup>). Diariamente, se registran 2.94 millones de desplazamientos de personas desde el Gran Buenos Aires hacia la ciudad, siendo 53% de éstos realizados en vehículos particulares y el resto en transporte público (tren/colectivo) (GCABA, 2020). La explicación del alto porcentaje de viajes en vehículos particulares no es sencilla y está ligada a múltiples factores sociodemográficos o preferencias personales, como lo son la inclinación por el confort, privacidad y flexibilidad que representa el auto particular, las cuales le dan una ventaja a este modo de

---

<sup>3</sup> La contaminación incluye las partículas y otras sustancias liberadas en el aire, el ruido y los gases con efecto de invernadero. El transporte produce 14% de las emisiones globales en este sentido (EPA, 2022).

transporte y constituyen barreras para el cambio del comportamiento de sus usuarios.

El interés de la gente por el auto, sumado al problema de la congestión de tránsito, sugieren compartir los viajes en este medio. Esta idea de agrupar varias personas en un mismo vehículo, reduciendo así la cantidad de conductores, y por ende de vehículos, es un modo de viaje que se conoce como *carpooling* y ha sido durante años promovido por las autoridades de distintos países como una solución a la demanda de transporte (Chan and Shaheen, 2012). A modo de definición, siguiendo a Delhomme y Gheorghiu (2016), al igual que en Picasso, Bonoli Escobar y Cosatto Ammann (2020): se define *carpooling* como el acuerdo entre dos o más personas, que no pertenecen a la misma familia u hogar, para compartir un vehículo privado para hacer un viaje, en donde los pasajeros comparten los gastos del conductor. No debe confundirse con el término *car-sharing*, modalidad que consiste en el uso de vehículos compartidos, en el que una empresa pone a disposición autos para ser usados individualmente por cortos periodos de tiempo por diferentes personas en viajes sucesivos.

Para la formación de *carpools* es necesario encontrar personas con horarios y rutas coincidentes, en las cuales los pasajeros deben estar en un lugar a un tiempo determinado a fin de que el conductor pueda transportarlos, lo cual representa un requisito de densidad de viajes como condición necesaria para el funcionamiento del sistema (Minett y Pearce, 2011). Entre los beneficios a los que acceden quienes lo utilizan se puede mencionar: menor costo de viaje como resultado de compartir los gastos, menor tiempo de viaje si existen carriles rápidos exclusivos para autos con pasajeros (*High Occupancy Vehicle Lanes*, también llamados *HOV* por sus siglas), manteniendo el confort, flexibilidad y seguridad del auto. El *carpooling* también puede ser interesante para aquellas personas que se movilizan en transporte público, pues ganan velocidad y confort, aunque a un precio bastante más elevado (Teal, 1987).

En su reciente trabajo, llevado a cabo con información de conductores solitarios en la ciudad de Lyon y utilizando modelos de selección discreta, Le Goff, Monchambert y Raux (2021) resaltan la dificultad para motivar a los conductores de autos a ocupar el rol de pasajeros de *carpooling*. Aun con ciertos ahorros de costo y tiempo propuestos (mediante la hipotética creación de un carril *HOV*) mencionan que los incentivos no parecen lograr del *carpooling* una solución para aliviar el tránsito vehicular. En cambio, estos autores se limitan al estudio y análisis del *carpooling* considerando solo los conductores en auto en solitario, aunque individuos que realizan viajes mediante otros medios pueden volcarse al *carpooling* también, tal como lo menciona Teal (1987).

El presente artículo continua el trabajo realizado por Picasso *et al.* (2020). En el mismo se analiza el interés de los habitantes de la ciudad de Buenos Aires por viajar como pasajeros en un potencial sistema de *carpooling* basado en una aplicación online que permite a conductores y pasajeros encontrarse y acordar las condiciones del viaje. Es decir, se estudió el lado de la demanda del sistema. En este artículo se enfoca en el lado de la oferta: la disposición de los conductores solitarios a aceptar pasajeros a través del mismo sistema de *carpooling*. En aquel trabajo se encontró que gran parte de la población prefiere el *carpooling* al auto

propio cuando se considera la ventaja de costo. La disponibilidad de un carril *HOV*, con el ahorro de tiempo de viaje asociado, refuerza esta preferencia. Los varones jóvenes tienen mayor preferencia por ser demandantes de *carpooling*, mientras que las mujeres jóvenes son las menos interesadas. Las personas de mayor ingreso tienen mayor probabilidad de elegir este medio, y quienes priorizan el confort en el transporte aprecian el *carpooling* tanto como el auto particular.

El objetivo del presente trabajo es el análisis de la oferta del *carpooling* mediante un experimento de selección y modelos de selección discreta, similar a lo utilizado en el artículo anterior, así como a la comprensión de los determinantes demográficos de tal servicio. En la sección 2 hacemos una revisión de la literatura, en la sección 3 exponemos la metodología, en la sección 4 presentamos los resultados sobre la oferta y luego concluimos.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

No son abundantes los artículos que se enfocaron en analizar el interés del *carpooling* haciendo una distinción entre el rol de pasajero y el de conductor; menos aún aquellos que se focalizaron solo en la oferta del *carpooling*. La mayoría abordó la temática considerando al *carpooling* como una única opción de transporte, sin considerar que implica dos roles con características disímiles: conductores y pasajeros.

Neoh, Chipulu y Marshall (2015) en su metaanálisis sobre 22 estudios respecto del *carpooling* encontraron que factores demográficos como ser joven y varón están relacionados con un mayor uso de este medio. En relación con factores situacionales, confirmaron la mayor distancia de viaje y la carencia de transporte público como promotores del *carpooling*. En cambio, el tiempo dedicado a encontrarse o a acercarse al compañero, que puede generar demoras del orden del 17%, funciona como detractor. Entre los factores discrecionales (*judgmental*) señalan como promotores: los beneficios económicos, las motivaciones ambientales y la comunión de intereses entre los compañeros de *carpooling*; y como detractores: la pérdida de privacidad, la cesión del control al conductor y el interés afectivo por conducir. Luego analizan algunos incentivos que se han utilizado para promover el *carpooling*. La garantía de viaje de regreso es apreciada por los pasajeros, así como los sistemas de búsqueda de compañero de viaje (*ride-matching*) y los incentivos de estacionamiento. En cambio, encuentran que los carriles exclusivos *HOV* son un fracaso. Por último, encuentran que los sistemas de *carpooling* organizados por empresas son más efectivos cuando la empresa es grande y tiene horarios laborales fijos.

Shaheen, Chan y Gaynor (2016) en su estudio sobre la preferencia del *casual carpooling*<sup>4</sup> sobre los demás medios de transporte en la bahía de San Francisco utilizando modelos de selección discreta, incluyeron una variable binaria indicadora del rol en el *carpool* (“siempre pasajero” o “a veces conductor”) y encontraron que esta variable era la que más afectaba la elección del medio de

<sup>4</sup> Casual carpooling consiste en la afluencia espontánea de peatones y conductores en la hora pico hacia sitios específicos donde se encuentran y acuerdan un viaje en el momento, sin planificación ni relación previa. Esto se da espontáneamente en tres lugares en USA.

transporte. Aun así, tal como comentan Park, Chen y Akar (2018), este estudio tiene la limitación de contar con una muestra principalmente de pasajeros que esperaban un viaje en puntos de recogida informales, por lo que no refleja suficientemente la perspectiva de los conductores.

Por su parte, Park *et al.* (2018), estudiaron los factores que afectan a los individuos en la elección del *carpooling* y el rol en éste, usando datos de una muestra realizada en el campus de la Universidad de Ohio en 2012 mediante dos modelos probit binarios, uno para examinar al conductor y otro para el pasajero. Este trabajo permite discernir mejor las diferencias entre pasajeros y conductores. Según el mismo, la edad juega un rol importante, las personas menores a 25 años tienen mayor interés por ser conductores o pasajeros que los demás, y las personas mayores de 45 años tienen menor interés en cualquier rol. Esto tiene una similitud con el rol en el campus, los estudiantes parecen más interesados, tanto como pasajero o conductor, que los docentes o administrativos. Los varones son más propensos a ser conductores de *carpools*. Con respecto al viaje en sí, se encontró que ambos se ven interesados por una disminución del tiempo y que los pasajeros valoran más un ahorro en los costos. Por último, la flexibilidad representa una componente importante para los conductores, que pueden hacer paradas intermedias en el viaje sin perder autonomía. Los pasajeros, en cambio, están más preocupados por la seguridad, quizá por ser mayormente mujeres.

Uno de los primeros y más profundos trabajos en los cuales se analizaron las diferencias entre los individuos que ocupan los distintos roles del *carpooling* fue el de Teal (1987), quien utilizó información de la *National Personal Transportation Survey* de 1977-78, década en la cual se registra la mayor actividad de este medio de transporte en Estados Unidos. El trabajo contó con información de 22.000 personas, de las cuales 3.000 eran usuarios activos de *carpooling*. En su trabajo, clasificó a los usuarios según si viajan en *carpool* con al menos un familiar (*Housholds carpoolers*), viajaban siempre como pasajeros en *carpools* extrafamiliares (*Carpool riders*) y viajaban a veces o siempre como conductores en *carpools* extrafamiliares (*External carpoolers*). En este trabajo sostiene que los *external carpoolers* son más parecidos a los conductores de autos que los otros dos grupos, lo que tiene relación con lo encontrado por Le Goff, Monchambert y Raux (2021), quienes afirman que los conductores de auto se inclinan más por cambiar al *carpooling* como conductor que como pasajero. Teal (1987) en su estudio concluyó que los *external carpoolers* tienen más tiempo de viaje y disponibilidad del automóvil que los otros dos, además de una menor presencia de mujeres, lo que coincide con lo hallado por Park *et al.* (2018). Mientras que los *carpools riders* suelen tener menor ingreso y disponibilidad de automóvil.

Mitropoulos, Kortsari y Ayfantopoulou (2021), a diferencia de los demás, se enfocaron en los factores que afectan a los conductores de autos a ser oferentes de una plataforma de *carpooling*. Para ello, utilizaron información de conductores de autos del Reino Unido y los 27 países de la Unión europea en un modelo logístico binario. Encontraron que la cantidad de pasajeros que los conductores están dispuestos a llevar influye en su elección, siendo que aquellas personas que están dispuestas a viajar con dos o tres de ellos, tienen 2.2 veces

mayor probabilidad de ser conductores de *carpool* que las que prefieren solo uno. Según Mitropoulos *et al.* (2021) esto ocurre debido a una percepción de seguridad, el segundo pasajero actuaría como una protección para el conductor. Aun así, esto no sería suficiente en materia de seguridad, siendo que encontraron que es importante que el conductor pueda verificar el perfil del pasajero a través de la aplicación para que ocurra el *carpooling*. Por último, a pesar de que transportar más de un pasajero aumenta la probabilidad de elección, los autores afirman que el *carpooling* es más propenso a ser utilizado cuando solo se tiene un punto de recogida y destino para ambos pasajeros.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Experimento de selección

La muestra proviene de una encuesta *ad-hoc* distribuida en el año 2017 que incluyó el experimento de selección discreta. La población objetivo que se estableció son los residentes del Gran Buenos Aires que viajan al menos una vez por semana a la Capital durante los horarios de alta congestión. Los individuos que disponen de automóvil y manifestaron reticencia a cambiar de medio de transporte, potenciales oferentes de viajes en la plataforma de *carpooling* planteada, fueron derivados al experimento de oferta; mientras que los otros fueron derivados al experimento de demanda, según explica Picasso *et al.* (2020). Así, se obtuvo una muestra de 243 personas que contestaron satisfactoriamente la encuesta y 3645 tareas de selección, puesto que cada persona realizó 15 tareas.

En la primera parte del cuestionario indagamos acerca de los viajes que el individuo realiza hacia la ciudad, disponibilidad de automóvil, preferencias de medio de transporte, etc.; lo cual permitió definir el viaje sobre el que se realiza el experimento. También se expuso al individuo al concepto de la plataforma de *carpooling* y se relevó su reacción, y al del carril exclusivo para vehículos de alta ocupación.

¿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. Representación de lo que veía el encuestado en cada escenario.

El experimento de selección discreta consiste en mostrarle al encuestado T = 15 escenarios de viaje con distintos atributos de tiempo y costo de viaje para cada medio de transporte, en los que debía elegir un medio (FIGURA 1).

Los medios de transporte disponibles para viajar desde el conurbano hasta la Capital son: Auto privado, *Chárter* y Transporte Público (Colectivo y/o Tren); a los cuales se agrega la nueva opción como conductor de *Carpooling*. El tiempo y costo de cada alternativa varían en cada escenario, oscilando alrededor de los valores correspondientes al viaje que declararon como más frecuente. A estos valores de tiempo y costo del viaje más frecuente de cada alternativa se los denomina tiempos base y costos base y son calculados para cada individuo según las características de su viaje más frecuente.

El hecho de que el experimento pivotee en un viaje que el individuo realiza frecuentemente le da realismo, porque la persona toma decisiones en un contexto de viaje real que conoce perfectamente. Aun así, la implementación de este tipo de experimento es compleja, siendo que requiere relevar una serie de datos sobre el viaje más frecuente del individuo, para luego parametrizarlos y obtener los valores de tiempo y costo del viaje más frecuente para cada alternativa en el mismo momento de la encuesta. El experimento fue programado para generar escenarios de viaje relevantes para cada individuo en tiempo real, a partir de valerse de información que relevaban los encuestados tales como: el origen y destino del viaje, tiempos hasta la parada de salida del tren, colectivo y *chárter*, desde la parada de llegada hasta el destino, tiempos de espera, costo y tiempo de estacionamiento, etc.

La respuesta del individuo a su origen y destino del viaje más frecuente se utiliza como entrada en matrices Origen-Destino (O-D) con información sobre tiempos, costos y distancias de cada combinación que fue necesario relevar. Aun así, dada la cantidad de combinaciones posibles, fue necesario agrupar distintas zonas de origen y destino. Mediante *clusters* concéntricos con centro en la Ciudad de Buenos Aires, se logró reducir el total de 197 municipios del Gran Buenos Aires a 44 zonas de origen, mientras que se agrupó a los destinos en 5 zonas de la Capital: este, sur, centro, oeste y norte.

Para el caso del automóvil, el costo base fue establecido a partir de su costo por kilómetro (3.4 Ar\$2017 / km) multiplicado por la distancia del par O-D del individuo, el peaje (obtenido por la matriz O-D) y el costo del estacionamiento (obtenido a partir del encuestado si usaba habitualmente el auto, o en caso contrario, de una estimación en base al destino del viaje y tiempo en la ciudad). Por el lado del tiempo base, se utilizó el promedio entre el tiempo mínimo y máximo para cada par O-D en hora pico (los cuales se obtuvieron del algoritmo de Google Maps) más el tiempo de búsqueda de estacionamiento y desde este al destino final. En el *carpooling*: el tiempo base correspondía al tiempo base del auto menos un ahorro de tiempo por la utilización de las líneas de carril rápido (estimada según el O-D con un máximo de 15 min.); mientras que el costo base era el del auto menos una compensación base<sup>5</sup>. En cuanto al *chárter*, su tiempo base se estimó a partir del tiempo en automóvil, con ajustes debido a paradas y a la utilización del carril rápido, más la adición del tiempo de espera y los tiempos de caminata previo y post traslado; mientras que el costo se obtuvo a partir de las

<sup>5</sup> Esta compensación base se estableció como el 40% del costo base del auto sin incluir el estacionamiento

tarifas de compañías. Por último, para el transporte público, que incluía cualquier combinación de tren, colectivo y subte, se utilizaron los tiempos y costos de viaje de la matriz O-D (obtenidos a partir del algoritmo de Google Maps) junto con el tiempo de espera y de caminata post y previo al traslado.

A partir de los valores base individuales de cada alternativa, el experimento de selección presenta en cada uno de los 15 escenarios atributos que pivotan alrededor de éstos. El tiempo de viaje para cada medio de transporte adopta el valor base o modificaciones porcentuales de -30%, -15%, 15% y 30%. Similares valores se adoptan para el costo de viaje en *chárter* y automóvil. Por otro lado, dado el sustancial subsidio a la tarifa de transporte público vigente en el momento del relevamiento de datos, su costo se hizo variar desde el valor base hasta 3 veces este valor (en saltos de 50%). El costo del *carpooling* adopta 5 valores posibles, desde una compensación igual a cero hasta dos veces el valor base de la compensación. A pesar de lo mencionado, dada la cantidad de escenarios posibles (existen  $5^8 = 390.625$  posibles combinaciones de tiempos y costos) y la necesidad de solo mostrar una fracción de ellos (solo 15), se realizó un diseño fraccional factorial para la óptima selección de combinaciones. Para ello, se utilizó el *plugin* del *R-Commander* para diseño de experimentos (*RcmdrPlugin.DoE*)<sup>6</sup>.

Con respecto al conjunto de variables demográficas relevadas por la encuesta, se puede mencionar entre otras a la edad, el género, el nivel socioeconómico (NSE), el ingreso, la situación marital, la cantidad de hijos y de automóviles, la localidad y el medio de transporte, propósito y frecuencia habitual de los viajes a CABA. El NSE se obtuvo mediante la metodología propuesta por la Sociedad Argentina de Investigadores de Mercado y Opinión (SAIMO, 2015), y se le asignó luego el ingreso medio del nivel correspondiente estimado por esta misma organización en función de la Encuesta Permanente de Hogares del INDEC.

La distribución de la encuesta, conteniendo el experimento y las preguntas, se realizó mediante un panel de internet online provisto por la compañía especializada *Oh-Panel*<sup>7</sup>, a una muestra representativa de individuos del GBA que se dirigen a CABA con regularidad. La conformación de ésta se realizó en dos etapas: la primera constituye la construcción del panel siguiendo normas de calidad que aseguran la representatividad en la población de usuarios de internet; y la segunda etapa, es una muestra simple al azar del panel. Luego, se verificó la pertenencia a la población objetivo mediante preguntas de filtro.

Las características de las 243 personas que participaron de la encuesta se encuentran en la TABLA 1. Se puede observar que la edad se concentra en los valores intermedios, con menor participación de los jóvenes (posiblemente por menor disponibilidad de automóvil) y los mayores (tal vez porque no tienen necesidad de viajar a la ciudad o no frecuentan internet). La distribución del género fue pareja para hombres (52%) y mujeres (48%). Por último, la muestra

<sup>6</sup> <https://cran.r-project.org/web/packages/RcmdrPlugin.DoE/index.html>

<sup>7</sup> <https://www.ohpanel.com>

tiene menor participación de personas con nivel socioeconómico (NSE) bajo, lo que guarda relación, entre otros factores, con la disponibilidad de automóvil.

Edad		Género		NSE	
18-24	5%	Mujer	48%	ABC1	40%
25-34	27%	Hombre	52%	C2	25%
35-44	29%			C3	26%
45-54	26%			D1	7%
55-64	7%			D2E	2%
65-82	6%				

**TABLA 1** – Distribución de la muestra según la edad, género y nivel socioeconómico (NSE).

### 3.2. Modelo de Selección Discreta

Los modelos de selección discreta permiten analizar las preferencias de los consumidores expresadas en el experimento de selección. Estos modelos se basan en la teoría de la utilidad aleatoria creada por Thurstone (1927). Cada medio de transporte goza de una función de utilidad (1), que depende del tiempo ( $t$ ) y del costo ( $c$ ) de viaje en el escenario presentado, así como de las características propias del medio de transporte. La utilidad parcial del *carpooling* ( $\beta_{CP}$ ), *chárter* ( $\beta_{Ch}$ ) y transporte público ( $\beta_{Tr}$ ) miden la preferencia de la población por estos medios de transporte, independientemente del tiempo y del costo del viaje. Al automóvil se lo establece como referencia<sup>8</sup>, con utilidad parcial nula. La utilidad parcial de las otras alternativas representa la diferencia con respecto al automóvil. Las utilidades parciales del tiempo ( $\beta_t$ ) y del costo ( $\beta_c$ ) miden la sensibilidad del individuo a esas variables y se asumen independientes del medio de transporte.

$$\begin{cases} \tilde{U}_{Car,it} = \beta_t t_{Car,it} + \beta_c c_{Car,it} + \tilde{\varepsilon}_{Car,it} \\ \tilde{U}_{CPool,it} = \beta_{CP} + \beta_t t_{CP,it} + \beta_c c_{CP,it} + \tilde{\varepsilon}_{CP,it} \\ \tilde{U}_{Ch,it} = \beta_{Ch} + \beta_t t_{Ch,it} + \beta_c c_{Ch,it} + \tilde{\varepsilon}_{Ch,it} \\ \tilde{U}_{Tr,it} = \beta_{Tr} + \beta_t t_{Tr,it} + \beta_c c_{Tr,it} + \tilde{\varepsilon}_{Tr,it} \end{cases} \quad (1)$$

donde el subíndice  $i$  representa al individuo (de 1 a 243) y el  $t$  al escenario presentado (de 1 a 15) y las abreviaturas *Car*, *CPool*, *Ch* y *Tr* hacen referencia al auto, *carpool*, *chárter* y transporte público. La componente aleatoria en cada función de utilidad,  $\tilde{\varepsilon}$ , da cuenta del conjunto de aspectos relativos al viaje de cada individuo que no están representados por la parte determinista de la utilidad.

Adoptando la notación vectorial el modelo queda:

$$\tilde{U}_{jit} = \beta_t x_{jit} + \tilde{\varepsilon}_{jit} \quad (1')$$

<sup>8</sup> No es posible identificar una utilidad parcial para todos los medios de transporte porque el cero de la utilidad no está definido. Se establece la utilidad parcial del auto a cero como referencia.

donde  $j$  representa la alternativa (medio de transporte).

La probabilidad de selección de cada medio de transporte para el modelo *Multinomial Logit* (MNL) es (Train, 2009):

$$P_{jit} = \frac{\exp(\beta x_{jit})}{\sum_{l=1}^J \exp(\beta x_{lit})} \quad (2)$$

Los parámetros se estiman luego mediante la maximización de la función de verosimilitud:

$$\ln \mathcal{L} = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J y_{jit} \ln P_{jit} \quad (3)$$

donde  $y_{jit}$  indica si el individuo  $i$  seleccionó el medio de transporte  $j$  en el escenario  $t$ .

Los modelos *MNL* tienen una serie de limitaciones para interpretar el comportamiento de las personas en el experimento, principalmente la cuestión de la heterogeneidad de las preferencias entre los individuos, que se resuelven mediante los modelos *Mixed Logit* (MXL). Éstos tienen una estructura similar a la planteada en la ecuación 1, pero establecen que los parámetros pueden ser aleatorios asignándoles una ley de probabilidad  $f(\beta)$ . Teniendo en cuenta que cada individuo mantiene los valores de los parámetros a lo largo de todos los escenarios, la probabilidad de selección de cada alternativa resulta (Train, 2009):

$$P_{ji} = \int \prod_{t=1}^T \frac{\exp(\beta x_{jit})}{\sum_{l=1}^J \exp(\beta x_{lit})} f(\beta) d\beta \quad (4)$$

El problema deriva en la estimación de los parámetros de la ley de probabilidad que mezcla los individuos, llamados hiper-parámetros, que se obtiene por máxima verosimilitud adaptando la expresión (3). La complejidad de cálculo de la integral se resuelve mediante simulación o Markov-Chain Monte Carlo. Para estimar los parámetros se empleó la biblioteca Apollo<sup>9</sup> de R.

La determinación de la ley de probabilidad de los parámetros se puede realizar de modo exploratorio bajo la guía de los indicadores de parsimonia (AIC, BIC). En nuestro caso, se propone una ley normal para los parámetros de las alternativas y log-normal negativa para los coeficientes del tiempo y el costo porque tienen signo definido.

Los modelos de selección discreta permiten obtener una medida del valor subjetivo del tiempo o disposición a pagar por el mismo (*WTP: willingness-to-*

<sup>9</sup> <https://cran.r-project.org/web/packages/apollo/index.html>

pay). De acuerdo con Ben-Akiva y Lerman (1985) y Mc Fadden (1997), el valor subjetivo del tiempo ( $SV_t$ ) se define como la tasa marginal de sustitución entre el tiempo de viaje y el costo:

$$SV_t = \frac{\partial U / \partial t}{\partial U / \partial c} = \frac{\beta_t}{\beta_c} \quad (5)$$

donde  $U$  es la parte determinista de la utilidad.

Dado que los parámetros de tiempo y costo son aleatorios con ley Log-Normal, la cual tiene densidad nula en 0 y es preservada por la división, el valor subjetivo del tiempo también será aleatorio con distribución Log-Normal con los siguientes parámetros estructurales:

$$\begin{cases} \ln SV_t = \ln \beta_t - \ln \beta_c : \mathcal{N}(\mu_t - \mu_c, \sigma_t^2 + \sigma_c^2 - 2\rho_{tc}\sigma_t\sigma_c) \\ \ln \beta_t : \mathcal{N}(\mu_t, \sigma_t^2) \\ \ln \beta_c : \mathcal{N}(\mu_c, \sigma_c^2) \end{cases} \quad (6)$$

Donde  $\rho_{tc}$  es el coeficiente de correlación entre los logaritmos de los parámetros individuales. Para obtener la mediana del valor subjetivo del tiempo, dado que sigue una ley log-normal, se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Mediana}(SV_t) = e^{\mu_t - \mu_c} \quad (7)$$

El valor subjetivo del *carpooling* y los otros medios de transporte en sí, se obtiene de modo similar, considerando que se trata de variables binarias:

$$SV_j = \frac{\Delta U}{\partial U / \partial c} = \frac{\beta_j}{\beta_c} \quad (8)$$

Por último, con respecto a las variables demográficas, estas no varían entre alternativas<sup>10</sup>, por lo cual no pueden introducirse de modo directo al modelo, ya que implicarían una constante adicionada a todas las funciones de utilidad que no alteraría la decisión y, por lo tanto, los parámetros correspondientes no serían identificables. Entonces, se introducen en el modelo como interacción con alguna variable específica de alternativa. Por ejemplo, el género del individuo se introduce interactuando con la variable indicadora de alternativa *carpooling*, de modo de poder identificar la diferencia en la valoración del medio de transporte entre varones y mujeres.

<sup>10</sup> Utilizamos la palabra "demográfico" en sentido amplio, incluyendo las variables clásicas como sexo, edad, educación, ingreso, etc. y todo otro descriptor del individuo, como sus actitudes y creencias.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSION

En primer lugar, se evaluó el interés por la plataforma de *carpooling* mediante un modelo *MXL* con las variables de calidad de servicio (medios de transporte, tiempo y costo). En la TABLA 2 se muestran los resultados de la estimación del modelo de parámetros aleatorios. El logaritmo de verosimilitud alcanzado fue de -2547, sustancialmente mejor que un modelo *naive*<sup>11</sup> (-5053). El indicador de Mc Fadden (0.496) muestra la buena capacidad para representar las decisiones que tiene el modelo. Según Hensher, Rose y Greene (2015) un valor sobre 0.3 se considera muy bueno para modelos de selección discreta.

El modelo principal contiene las variables explicativas: tiempo, costo y medio de transporte (Auto, *Carpooling*, *Chárter* o Transporte Público) en las distintas funciones de utilidad. La alternativa del auto se dejó como referencia, de modo que los coeficientes de las demás alternativas se interpretan como la diferencia entre las utilidades de ellas y la del auto. Las utilidades parciales del tiempo y el costo fueron especificadas con una ley de probabilidad Log-Normal de signo negativo, de acuerdo con la teoría económica y la mejor adaptación a la heterogeneidad de la población por su marcada asimetría; mientras que las relacionadas al medio de transporte con una distribución Normal. Para cada utilidad hemos estimado entonces la media y el desvío estándar (hiperparámetros).

Todos los parámetros resultaron estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ). Si se observan las utilidades de los medios de transporte, las medias de éstas son negativas, lo que indica que la mayoría de la población prefiere el auto como medio de transporte. El siguiente medio es *carpooling*, seguido del *chárter* y finalmente el transporte público. Haciendo abstracción del tiempo y del costo, éste es el orden de preferencia de los medios de transporte. Esta opinión, aun así, no es generalizada debido a que las tres utilidades son aleatorias. Calculando probabilidades normales con la media y el desvío estándar de cada parámetro<sup>12</sup>, se encontró que: hay un 37% de la población que prefiere el *carpooling* al auto, 28% que prefiere el *chárter* al auto, y 20% que prefiere el transporte público al auto.

Pasando a las variables de tiempo y costo, los valores que se muestran en la TABLA 2 son los de la normal asociada a la Log-Normal. El cociente de ambas utilidades parciales representa el valor que el usuario le asigna al tiempo para este tipo de viajes (disponibilidad a pagar por el tiempo o *WTP* en inglés). Según la expresión (7), el *WTP* sigue una Ley Log-Normal con mediana 4.78 U\$/hora. Éste es mayor al valor de *WTP* encontrado para la parte demandante, 2.66 U\$/hora<sup>13</sup> (Picasso *et al.*, 2020), por lo cual parece que aquellas personas que optarían por demandar la red de *carpooling* tendrían una menor valorización por el tiempo.

<sup>11</sup> El modelo *naive* considera solamente las utilidades de los medios de transporte como parámetros fijos.

<sup>12</sup> Probabilidad de que el parámetro correspondiente sea mayor que cero (utilidad del auto).

<sup>13</sup> Se hace la conversión de 0.79\$Ar2017/min a U\$/hora utilizando el tipo de cambio prevalente: 17.83\$/U\$

		Ley	Media	p.value	Desvio Std.	p.value
Carpooling	$\beta_{cp}$	Norm	-0.93	<0.001	-2.92	<0.001
Charter	$\beta_{ch}$	Norm	-1.51	<0.001	-2.64	<0.001
Transit	$\beta_{tr}$	Norm	-2.64	<0.001	-3.12	<0.001
Time	$\beta_t$	LogN	-3.40	<0.001	-1.19	<0.001
Cost	$\beta_c$	LogN	-3.75	<0.001	-1.32	<0.001

N°Tareas	3645
Log Likelihood	-2547
Mc Fadden R^2	0.496
AIC	5114

**TABLA 2.** Resultado de la estimación del modelo principal.

Con el objetivo de explorar la variación de la probabilidad del *carpooling* en diferentes grupos demográficos, se practicaron variantes al modelo principal introduciendo variables fijas relacionadas a la utilidad parcial del *carpooling*. Al igual que en Picasso *et al.* (2020), esto se realizó en etapas para eludir posibles problemas de colinealidad. En primer lugar, se definió un modelo que incorpora el Ingreso como variable explicativa. El resultado de la calibración del modelo, encontrado en la TABLA 3, no nos permite hallar una relación entre la probabilidad de ser conductor de *carpooling* y el ingreso de la persona dada la ausencia de significancia estadística en la variable ingreso ( $p=0.43$ ).

		Ley	Media	p.value	Desvio Std.	p.value
Carpooling	$\beta_{cp}$	Norm	-1.05	0.067	-1.05	<0.001
Charter	$\beta_{ch}$	Norm	-1.56	<0.001	-1.56	<0.001
Transit	$\beta_{tr}$	Norm	-2.60	<0.001	-2.60	<0.001
Time	$\beta_t$	LogN	-3.46	<0.001	-3.46	<0.001
Cost	$\beta_c$	LogN	-3.70	<0.001	-3.70	<0.001
Cp: Ingreso	$\beta_{cp:Ingreso}$	Fijo	6.03E-06	0.43		

**TABLA 3.** Resultado de la estimación del modelo con el ingreso como variable explicativa asociada al *carpooling*.

Se probaron variantes, tales como aplicar el logaritmo al ingreso o discretizarlo mediante variables indicadoras de los niveles socioeconómicos más altos y bajos, pero no se encontró significancia estadística en su relación.

En la TABLA 4, se muestra el resultado de la calibración de un modelo que analiza la asociación entre la juventud (menor a 30 años) y la preferencia por el *carpooling* mediante una variable binaria. La variable generó un incremento de verosimilitud significativo con respecto al modelo principal ( $p=4\%$ )<sup>14</sup>. El resultado permite afirmar que las personas jóvenes tienen una probabilidad mayor por elegir ser conductores de *carpooling*. En particular, dado los hallazgos en Picasso *et al.* (2020) sobre la parte demandante, se puede confirmar la mayor preferencia

<sup>14</sup> Surge de aplicar el *likelihood ratio test* (Train, 2009), que analiza la significancia en el aumento de la verosimilitud alcanzada.

de los jóvenes por ocupar cualquier rol. Esto coincide con los hallazgos de Park *et al.* (2018), quien concluyó que las personas jóvenes tienen mayor interés por ser conductores o pasajeros.

		Ley	Media	p.value	Desvio Std.	p.value
Carpooling	$\beta_{cp}$	Norm	-1.02	<0.001	-2.91	<0.001
Charter	$\beta_{ch}$	Norm	-1.50	<0.001	-2.15	<0.001
Transit	$\beta_{tr}$	Norm	-2.40	<0.001	-3.02	<0.001
Time	$\beta_t$	LogN	-3.45	<0.001	-1.05	<0.001
Cost	$\beta_c$	LogN	-3.76	<0.001	-1.17	<0.001
Cpool:joven	$\beta_{cp:joven}$	Fijo	0.93	0.02		

**TABLA 4.** Resultado de la estimación del modelo con la variable binaria joven (menor a 30 años) como variable explicativa asociada al *carpooling*.

Por otro lado, siguiendo a Picasso *et al.* (2020), se analizó la asociación del género y su interacción con la juventud en la probabilidad del *carpooling*, pero los resultados no fueron estadísticamente significativos.

La calibración de un modelo que analiza asociación de la frecuencia de viajes a la ciudad con la preferencia por el *carpooling* se muestra en la TABLA 5. Se introdujo al modelo mediante una variable binaria indicativa de quienes viajan menos de 4 veces por semana.

		Ley	Media	p.value	Desvio Std.	p.value
Carpooling	$\beta_{cp}$	Norm	-0.47	<0.001	-2.89	<0.001
Charter	$\beta_{ch}$	Norm	-1.40	0.001	-1.99	<0.001
Transit	$\beta_{tr}$	Norm	-2.36	<0.001	-3.29	<0.001
Time	$\beta_t$	LogN	-3.44	<0.001	-1.04	<0.001
Cost	$\beta_c$	LogN	-3.73	<0.001	-1.15	<0.001
Cpool:CantViajes<4	$\beta_{cp:CantViajes<4}$	Fijo	-0.97	0.003		

**TABLA 5.** Resultado de la estimación del modelo para entender la asociación de la cantidad de viajes semanales con la preferencia por el *carpooling*.

El modelo se estimó con un aumento significativo de la verosimilitud ( $p=1\%$ ). El parámetro de la interacción entre las personas que viajan poco a CABA y la preferencia por *carpooling* resultó negativo y estadísticamente significativo ( $p=0.003$ ). Esto significa que aquellas personas que viajan con menor asiduidad a la ciudad tienen menor probabilidad de elegir el *carpooling*. Probablemente las personas que viajan por trabajo tengan mayor preferencia por llevar pasajeros, considerando el mayor beneficio mensual por la cantidad de viajes.

## 5. CONCLUSIONES

El presente trabajo consistió en el análisis de la oferta de un sistema de *carpooling* basado en una hipotética red social online en la población de la Ciudad de Buenos Aires. Para ello, se relevó información empírica sobre las preferencias de una muestra representativa de la población oferente mediante una encuesta

*ad-hoc* que contenía un experimento de selección discreta, en la que los individuos debían declarar qué medio de transporte escogerían: auto, *carpooling*, *chárter* o transporte público; en distintos escenarios de tiempos y costos para cada medio. La estimación de la utilidad de cada medio de transporte, así como la del tiempo y del costo de viaje, se obtuvieron mediante la aplicación de modelos *Mixed Logit*.

De las estimaciones se concluye que la población valora la alternativa del *carpooling* más que el transporte público y *chárter*, pero menos que el auto propio, posiblemente debido a su flexibilidad e independencia. Además, en comparación con los resultados de la parte demandante, a partir de las estimaciones de la utilidad del tiempo y costo se deduce que la población oferente tiene una mayor valorización del tiempo, lo cual es razonable considerando la mayor presencia del automóvil en los viajes a la ciudad.

Adicionalmente en el estudio de la población oferente, se analizaron características sociodemográficas que marcaran una preferencia por el *carpooling*. Se encontró que ser una persona joven está relacionado con una mayor probabilidad de ser conductor de *carpools*, resultado que coincide con la literatura expuesta. Por otro lado, viajar con mayor regularidad a la Ciudad de Buenos Aires se vincula con una mayor preferencia por el *carpooling*, posiblemente debido a la mayor acumulación mensual del ahorro que se percibe por la compensación recibida del pasajero. Otras variables sociodemográficas como el género, nivel socioeconómico e ingreso del individuo no mostraron relación con la probabilidad de elección por el *carpooling*.

Los resultados del presente artículo derivan de un experimento realizado antes de la pandemia de COVID-19, fenómeno que generó cambios en las actitudes e intereses de las personas en relación con el transporte. Es posible que el atractivo del *carpooling* haya disminuido después de la pandemia, como sucedió con el transporte público (Thomas, Charlton, Lewis y Nandavar, 2021). También es probable que el efecto sea menor en el *carpooling* considerando que evita las aglomeraciones del transporte público. En cualquier caso, se observa una tendencia a retomar los niveles pre-pandemia gradualmente (Thomas *et al.*, 2021). Sin embargo, resulta interesante estudiar el *choice share* hacia el *carpooling* luego de la pandemia y analizar los eventuales cambios persistentes en las actitudes.

## 6. AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Católica Argentina por el financiamiento de la implementación del experimento de selección, y a los alumnos de Ingeniería que colaboraron en el diseño e implementación del mismo: Ignacio Giménez Losano, Zenón De Zabaleta, Eliane Otto, María Victoria Pignataro e Ignacio Amodei.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Ben-Akiva M., Lerman S. (1985). Discrete choice analysis: Theory and application to travel demand. MIT Press. Cambridge, MA.

Chan N.D., Shaheen A.S. (2012). Ridesharing in North America: past, present and future. *Transport Reviews* 32.1: 93-112.

Delhomme P, Gheorghiu A (2016). Comparing French carpoolers and non-carpoolers: Which factors contribute the most to carpooling? *Transportation Research Part D* 42: 1-15.

EPA (United States Environmental Protection Agency) (2022), Global Greenhouse Gas Emissions Data. Disponible en: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>

Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (GCABA) (2020). Plan de Movilidad Sustentable 2020. Buenos Aires: Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (no publicado)

Hensher, D.A., Rose, J.M., Greene, W.H. (2015) *Applied Choice Analysis* (2nd ed.), Cambridge University Press, Cambridge, UK.

INDEC: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS: Censo 2020: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-165>

Mc Fadden D. (1997). Measuring willingness-to-pay for transportation improvements. University of California, Berkeley, USA.

Minett P, Pearce J (2011). Estimating the Energy Consumption Impact of Casual Carpooling. *Energies* 4.1: 126-139.

Mitropoulos, Lambros; Kortsari, Annie; Ayfantopoulou, Georgia. (2021). Factors Affecting Drivers to Participate in a Carpooling to Public Transport Service. *Sustainability*. 13. 9129. 10.3390/su13169129.

Neoh J.G, Chipulu M., Marshall A. (2015). What encourages people to carpool? An evaluation of factors with meta-analysis. *Transportation* 44.2: 423-447.

Le Goff, Alix; Monchambert, Guillaume; Raux, Charles. (2021). Are solo driving commuters ready to switch to carpool? Heterogeneity of preferences in Lyon's urban area. *Transport Policy*. 115. 10.1016/j.tranpol.2021.10.001.

Park, Yujin; Chen, Na; Akar, Gulsah. (2018). Who is Interested in Carpooling and Why: The Importance of Individual Characteristics, Role Preferences and Carpool Markets.

Picasso, E.; Bonoli Escobar, M.; Cosatto Ammann, P. (2020). Evaluación de una plataforma de carpooling mediante experimentos de selección. *Revista de la Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa*, 28(48).

Shaheen S., Chan N., Gaynor T. (2016). Casual carpooling in the San Francisco Bay Area: Understanding user characteristics, behaviors, and motivations. *Transport Policy*. Volume 51. 165-173.

SAIMO (Sociedad Argentina de Investigadores de Mercado y Opinion) (2015): "El Nivel Socioeconomico en Argentina". <http://www.saimo.org.ar/observatorios/observatorio-social>.

Teal (1987). Carpooling: Who, how and why. *Transportation Research Part A*, 21A.3: 203-214.

Thomas, Francene; Charlton, Samuel; Lewis, Ioni; Nandavar, Sonali. (2021). Commuting before and after COVID-19. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. 11. 100423.

Thurstone L. L. (1927). A law of comparative judgment. *Psychological Review*, 34, 273-286.

Train K. (2009). *Discrete choice methods with simulation*. Cambridge University Press.