

CARPOOLING DESDE LA PERSPECTIVA DEL CONDUCTOR - UN EXPERIMENTO DE SELECCIÓN

**EMILIO PUGNALONI¹ - MARIANO BONOLI ESCOBAR² - MARÍA STEWART HARRIS¹ -
EMILIO PICASSO^{1,2}**

**Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Universidad Católica Argentina, Av. Moreau de
Justo 1600, C1107AAZ, Ciudad de Buenos Aires, Argentina.**

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

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 car-pooling, de modo de aliviar el tránsito vehicular constituye una posible solución.

El presente trabajo continúa el de Picasso et. al (2021) "Evaluación de una plataforma de car-pooling 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 car-pooling basado en una plataforma online. 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 car-pooling junto con las alternativas de transporte existentes. Los individuos debían elegir que 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 car-pooling 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: Car-pooling, Transporte urbano, Experimento de selección, Modelo de selección discreta.

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Católica Argentina

² Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

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.

ABSTRACT

The city of Buenos Aires, as 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 et. al (2021) “Evaluación de una plataforma de car-pooling mediante experimentos de selección”, with the objective of evaluating people interest in bidding in a potential carpooling system based on an online platform. 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 car-pooling besides the existing travel modes. The individuals were faced with 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: Car-pooling, 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 contaminación³, es causa de una importante desutilidad para la población debido al tiempo perdido. La ciudad de Buenos Aires no es ajena a este problema. El incesante aumento del

³ 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).

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. Picasso et al. (2020) abordan la cuestión de la demanda de carpooling, es decir la disposición a viajar como pasajero. En el presente artículo estudiamos la oferta, es decir la disposición a ofrecer el propio vehículo para carpooling.

Según fuentes oficiales (INDEC, 2010), en los 3880 km² del área metropolitana de Buenos Aires viven unos 12 millones de personas: unos 3 millones habitan en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (de 200 km²) mientras que los 9 millones restantes lo hacen en el Gran Buenos Aires (de 3680 km²). Diariamente, se registran 2.94 millones de desplazamientos de personas desde el Gran Buenos Aires hacia la ciudad, siendo 53% de éstos en vehículos particulares y el resto en transporte público (tren/colectivo) (GCABA, 2020). La explicación del alto porcentaje de viajes en vehículo particular no es sencilla y está ligada a múltiples factores sociodemográficos o de 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 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 auto. 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 et al. (2020): definimos 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 termino *car-sharing*, modalidad que consiste en el uso de vehículos compartidos por cortos periodos de tiempo, en el que una empresa pone a disposición autos para ser usados individualmente por varias 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 & 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*), 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, 1986).

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 et al. (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 modos 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 estudia el lado de la demanda del sistema. En este artículo enfocamos 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 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 similar al utilizado en el artículo anterior, así como a la comprensión de los determinantes demográficos de tal servicio

No son abundantes los papers 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 abordaron la temática considerando al carpooling como una única opción de transporte, sin considerar que implica dos roles con características disímiles.

Neoh et al. (2015) en su metaanálisis sobre 22 estudios sobre el carpooling encontraron que factores demográficos como ser joven y hombre 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 acercar al compañero funciona como detractor cuando excede 17%. 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 (*ridematching*) 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 et al. (2016) en su estudio sobre la preferencia del *casual carpooling*⁴ sobre los demás medios de transporte en la bahía de San Francisco utilizando modelos de selección discreta, incluyó una variable binaria indicadora del rol en el carpool ("siempre pasajero" o "a veces conductor") y encontró que

⁴ 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.

esta variable era la que más afectaba la elección del medio de transporte. Aun así, tal como comenta Park et al. (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 este, usando datos sobre una muestra 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 hombres son más propensos a ser conductores de carools. 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 el conductor, siendo que estos se ven interesados a tener la posibilidad de hacer paradas intermedias en el viaje y de este modo no perder autonomía. Los pasajeros, en cambio, están más preocupados por la seguridad, quizá por ser mayormente mujeres.

Uno de los primeros 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 carools extrafamiliares (*Carpool riders*) y viajaban a veces o siempre como conductores en carools extrafamiliares (*External carpoolers*). En este sostiene que los *External carpoolers* son más similares a los conductores de autos que los otros dos grupos, lo que tiene relación con lo encontrado por Le Goff et al. (2022), quienes afirman que los conductores de auto se inclinan más por cambiar al carpooling como conductor que como pasajero. Teal (1987) en su estudio

concluyo 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 menos ingresos y disponibilidad del automóvil.

Mitropoulos et al. (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 chequear el perfil del pasajero a través de la aplicación para que ocurra el funcionamiento de este modo de viaje. Por último, a pesar de que transportar a 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.

En el presente trabajo estudiamos la oferta de carpooling, como Mitropoulos et. al. (2021), pero además analizamos los factores demográficos y actitudinales que favorecen la elección de este medio de transporte; mediante un experimento de selección y modelos de selección discreta (*discrete choice models*). En la sección 2 exponemos la metodología, en la sección 3 presentamos los resultados sobre la oferta y luego concluimos.

2. METODOLOGIA

2.1. 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 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 y 3645 tareas de selección, puesto que cada persona realizó 15 tareas.

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

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).

¿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.

Los medios de transporte disponibles para viajar desde el conurbano hasta la Capital son: Auto privado, Charter 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. 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 repuesta del individuo a su origen y destino del viaje más frecuente se utiliza como entrada en matrices Origen-Destino 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 clústeres 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 de Google Maps) más el tiempo de búsqueda de estacionamiento y desde éste 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 establecida como el 40% del costo base del auto sin incluir el estacionamiento. En cuanto al chárter, su tiempo base se estimó a partir del tiempo en automóvil, con ajustes debido a paradas y 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, a partir de las tarifas de compañías. Por último, para el transporte público, quien 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 escenario 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 que contiene la tarifa de transporte público, su costo se hizo variar desde el valor base y 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 paquete estadístico de R DoE (*Design of experiments*).

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*, a una muestra representativa de individuos del GBA que se dirigen a CABA con regularidad. La conformación de esta 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.

Como resultado, se obtuvieron respuestas de 243 personas, contabilizando un total de 3645 decisiones en el experimento de selección. Las características de ésta 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 al no contar con una amplia disponibilidad del 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 tiene menor participación de personas con nivel socioeconómico bajo, lo que guarda relación, entre otros factores, con la disponibilidad del automóvil.

Edad		Genero		NSE	
18-25	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 demográfica de la muestra

2.2. Modelo de Selección Discreta

Las preferencias de los consumidores expresadas en el experimento de selección se representan mediante un modelo de selección discreta. Estos modelos se basan en la teoría de la utilidad aleatoria (Thurstone, 1927). A cada medio de transporte corresponde una función de utilidad (1), que depende del tiempo y del costo de viaje en el escenario presentado, así como de las características propias del medio de transporte. La utilidad parcial de cada medio de transporte (β_{CP} , β_{Ch} , β_{Tr}) mide la preferencia de la población independientemente del tiempo y el costo del viaje. Al automóvil no se le ha asignado utilidad parcial porque se establece como referencia⁵, por lo cual las utilidades de los otros medios de transporte se interpretan como diferencias con respecto a la referencia. Las utilidades parciales del tiempo (β_t) y del costo (β_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, y el t al escenario presentado.

Finalmente, el modelo asigna una componente aleatoria a cada función de utilidad, que da cuenta del conjunto de aspectos relativos al viaje de cada individuo que no están representados por la parte determinista antes descrita.

⁵ No es posible identificar una utilidad parcial para todos los medios de transporte porque el cero de la utilidad no está definido.

Adoptando la notación vectorial el modelo queda:

$$\tilde{U}_{jit} = \beta_i^T x_{jit} + \tilde{\varepsilon}_{jit} \quad (1')$$

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):

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

Esto permite formular la función de verosimilitud y proceder a la estimación de los parámetros por maximización.

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

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

Las variables demográficas⁶ no varían entre alternativas, por lo cual no pueden introducirse en el modelo de modo directo, 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 sexo biológico se introduce como interacción con la variable indicadora de alternativa car-pooling y así se representa la diferencia en la valoración del medio de transporte entre ambos sexos.

El modelo MNL tiene 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. A fin de representar más fielmente la heterogeneidad se recurre al modelo *Mixed Logit* (MXL) cuya estructura es similar a la planteada en la ecuación 1 pero establece que los parámetros pueden ser aleatorios. Asignando una ley de probabilidad a los parámetros $f(\beta)$, la probabilidad de selección de cada alternativa resulta (Train, 2009):

⁶ 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.

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

Teniendo en cuenta que cada individuo mantiene los valores de los parámetros a lo largo de todos los escenarios. 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 empleamos la biblioteca Apollo de R.

Se ha demostrado que el modelo MXL permite representar adecuadamente cualquier modelo de utilidad aleatoria bajo condiciones de regularidad muy generales (Mc Fadden, Train, 2000).

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 las constantes de alternativa y log-normal para los coeficientes del tiempo y el costo, porque tiene signo definido. En principio planteamos una modelo con parámetros independientes, aunque es posible liberar esta restricción y estimar las correlaciones.

Gracias al modelos de selección discreta es posible determinar el valor subjetivo del tiempo, como la disposición a pagar por el mismo (*WTP: willingness-to-pay*). De acuerdo con Ben-Akiva y Lerman (1985) y Mc Fadden (1997), el valor subjetivo del tiempo 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.

Cuando se trata de un modelo MXL, ambos parámetros son aleatorios. Como en este caso hemos establecido una ley Log-Normal para ambos, la cual tiene densidad nula en 0 y es preservada por la división, el valor subjetivo del tiempo también es aleatorio con distribución Log-Normal, con los siguientes parámetros estructurales:

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

Donde ρ_{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:

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

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

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

Las variables demográficas se introducen en el modelo en forma de interacción con otras variables que varían entre las alternativas del experimento, como la indicadora de car-pooling por ejemplo⁷.

3. 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 *naïve* que utiliza solo las variables de medio de transporte con parámetros fijos (-5053). El indicador de Mc Fadden (0.496) muestra la buena capacidad de representar las decisiones que tiene el modelo. Según Hensher et. al. (2015) un valor sobre 0.3 se considera muy bueno para modelos de selección discreta.

El modelo principal contiene las variables explicativas de 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

⁷ Usamos el término “demográfico” en sentido amplio: toda variable que describe una característica del individuo, y por lo tanto no varía entre alternativas. Estas variables no se pueden introducir directamente en el modelo porque representarían una constante sumada a todas las funciones de utilidad, lo cual no cambia la decisión y por lo tanto no es identificable.

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 (hiper-parámetros).

Todos los parámetros resultaron estadísticamente significativos. Si se observan las utilidades de los medios de transporte, las medias de estas 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 el costo, éste es el orden de preferencia de medios de transporte. Esta opinión, aun así, no es generalizada, debido a que las tres utilidades son aleatorias. 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. Este es mayor al valor de *WTP* encontrado para la parte demandante, 2.66 U\$/hora⁸ (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.

Tabla 2 - Modelo Principal

		Ley	Media	p.value	Desvio Std.	p.value
Carpooling	β_{cp}	Norm	-0,93	<0.001	-2,92	<0.001
Charter	β_{ch}	Norm	-1,51	<0.001	-2,64	<0.001
Transit	β_{tr}	Norm	-2,64	<0.001	-3,12	<0.001
Time	β_t	LogN	-3,40	<0.001	-1,19	<0.001
Cost	β_c	LogN	-3,75	<0.001	-1,32	<0.001

N°Tareas	3645
Log Likelihood	-2547
Mc Fadden R ²	0,496
AIC	5114

⁸ Se hace la conversión de 0.79\$Ar2017/min a U\$/hora utilizando el tipo de cambio prevalente:17.83\$/U\$

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 de modo de eludir problemas de colinealidad. En primer lugar, se definió un modelo que incorpora el Ingreso como variable explicativa. A esta se la midió de manera indirecta. Se determinó el nivel socioeconómico de cada individuo mediante la metodología propuesta por la Sociedad Argentina de Investigadores de Mercado y Opinión (SAIMO, 2015), y se le asignó el ingreso medio del nivel correspondiente estimado por esta misma organización en función de la Encuesta Permanente de Hogares del INDEC. 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.

Tabla 3 - Modelo Ingreso

		Ley	Media	p.value	Desvio Std.	p.value
Carpooling	β_{cp}	Norm	-1,05	0.067	-1,05	<0.001
Charter	β_{ch}	Norm	-1,56	<0.001	-1,56	<0.001
Transit	β_{tr}	Norm	-2,60	<0.001	-2,60	<0.001
Time	β_t	LogN	-3,46	<0.001	-3,46	<0.001
Cost	β_c	LogN	-3,70	<0.001	-3,70	<0.001
Cp: Ingreso	$\beta_{cp:ingreso}$	Fijo	6,03E-06	0.43		

Se probaron variantes, tales como introducir el logaritmo del ingreso y variables binarias indicativos de aquellos pertenecientes a los niveles socioeconómicos más altos y bajos, pero nuevamente no se encontró significancia estadística en su relación.

En la TABLA 4 se muestra el resultado de la calibración de un modelo que analiza influencia de ser una persona joven (menor a 30 años) en la preferencia por el carpooling mediante una variable binaria. La variable generó un incremento de verosimilitud significativo con respecto al modelo principal ($p=4\%$). El resultado, permite afirmar que las personas jóvenes tienen más probabilidad 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 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.

Tabla 4 - Modelo Edad

		Ley	Media	p.value	Desvio Std.	p.value
Carpooling	β_{cp}	Norm	-1,02	<0.001	-2,91	<0.001
Charter	β_{ch}	Norm	-1,50	<0.001	-2,15	<0.001
Transit	β_{tr}	Norm	-2,40	<0.001	-3,02	<0.001
Time	β_t	LogN	-3,45	<0.001	-1,05	<0.001
Cost	β_c	LogN	-3,76	<0.001	-1,17	<0.001
Cpool:joven	$\beta_{cp:joven}$	Fijo	0,93	0.02		

Por otro lado, siguiendo a Picasso et. al (2020), se analizó la incidencia del género y ser mujer joven en la probabilidad del carpooling, pero los resultados no son estadísticamente significativos.

La calibración de un modelo que analiza influencia de la frecuencia de viajes a la ciudad sobre 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.

Tabla 5 - Modelo cantidad de viajes semanales

		Ley	Media	p.value	Desvio Std.	p.value
Carpooling	β_{cp}	Norm	-0,47	<0.001	-2,89	<0.001
Charter	β_{ch}	Norm	-1,40	0.001	-1,99	<0.001
Transit	β_{tr}	Norm	-2,36	<0.001	-3,29	<0.001
Time	β_t	LogN	-3,44	<0.001	-1,04	<0.001
Cost	β_c	LogN	-3,73	<0.001	-1,15	<0.001
Cpool:CantViajes<4	$\beta_{cp:CantViajes<4}$	Fijo	-0,97	0.003		

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 equivale a 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.

4. CONCLUSIONES

El presente trabajo consistió en el análisis de la oferta de un sistema de car-pooling basado en una red social online en la población de la Ciudad de Buenos Aires, y su equilibrio con la parte demandante analizada en Picasso et.

al (2021): “Evaluación de una Plataforma de Car-pooling Mediante Experimentos de Selección”. 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 que 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 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 bibliografía expuesta en la introducción. 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 paper 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 et. al, 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.

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.
- Hess, S. & Polak, J.W. (2009) Mixed Logit Estimation of Parking Type Choice. In: B.W. Sloboda (ed.) *Transport Statistics*, J. Ross Publishing Inc., Fort Lauderdale, USA, 77-102.
- INDEC: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS: Censo 2010: <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>
- 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. (1997). Measuring willingness-to-pay for transportation improvements. University of California, Berkeley, USA.
- Mc Fadden D., Train K.E. (2000). Mixed MNL models for discrete response. *Journal of Applied Econometrics*, 81: 447-770.
- 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 JG, 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., Escobar, M. B., & Ammann, P. C. (2020). Evaluación de una plataforma de carpooling mediante experimentos de selección. *Revista de la Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa*, 28(48).
- SAIMO (Socioedad 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.
- Wang R. (2011). Shaping carpool policies under rapid motorization: the case of Chinese cities. *Transport Policy* 18: 631-635