**ANALISIS Y ESTIMACION DE LA OFERTA DEL CARPOOLING EN BUENOS AIRES MEDIANTE MODELOS DE SELECCIÓN DISCRETA**

**RESUMEN**

1. **INTRODUCCION**

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

Gran parte de las congestiones son a causa del caudal de autos que ingresan diariamente a la ciudad desde los alrededores, automóviles que muchas veces ingresan con una única persona dentro, sobre todo en aquellos horarios coincidentes con el inicio y fin de la jornada laboral. Surge ante este interés de las personas por el confort y la flexibilidad que representa este medio y los problemas de movilidad a causa del volumen de autos en circulación, la alternativa de que varias personas que viajan solas compartan el viaje en un único auto. Esta idea de agrupar varias personas en un mismo transporte, reduciendo así la cantidad de conductores, y por ende vehículos, se la conoce comocarpooling y ha sido promovida por las autoridades de distintos países como una solución a la demanda de transporte (Chan and Shaheen, 2012).

A modo de definición, el carpooling puede entenderse como un acuerdo informal entre un grupo de personas para compartir un auto privado en un trayecto, siendo un acuerdo por un viaje único, como diario o semanalmente. Para la formación de ellos 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 (Pearce and Minett, 2011). Entre los beneficios a los que acceden quienes lo utilizan se puede mencionar: menores costo del viaje al compartirse los gastos del viaje, menores tiempos de viaje como resultado de acceder a los carriles rápidos exclusivos para autos con pasajeros (HOV)[[1]](#footnote-1) y un viaje cómodo y seguro.

Aun asi, el carpooling es visto como una muy buena alternativa por aquellas personas que se movilizan en transporte público, pues se transportarían más rápido y con mayor confort, con un precio más elevado, pero no tanto como lo que le insumirían mantener un auto y abonar individualmente la totalidad del viaje (Teal, 1986). Surge ante esto la necesidad de estimar el interés de las personas por optar por esta forma de viaje compartido.

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

La metodología de la investigación se basa en la aplicación de los Modelos de Selección Discretea (Discrete Choice Modelling), quienes permitien analizar y predecir las decisiones de individuos frente a un conjunto finito de alternativas excluyente y colectivamente exhaustivo (Koppelman and Bhat, 2006).

Estos modelos se empezaron aplicando a la estimación de la demanda de transporte (Mc Fadden, 1973) y luego se generalizaron y aplicaron en distintos entornos donde se evidencien elecciones con alternativas mutuamente excluyentes: como la elección de qué automóvil comprar (i.e Bhat and Pulugurta, 1998), el tipo de vivienda y su ubicación (i.e Sermons and Koppelman, 1998) y otras tantas elecciones.

* 1. **Revisión de Literatura**

Gran número de artículos científicos se han publicado sobre el análisis del carpooling y aquellas variables que mas favorecen a la elección por el carpooling. A diferencia de este trabajo, no todos ellos utilizan Modelos de Selección Discreta, se enfocan en Argentina o exclusivamente en la parte oferente.

A modo de confección, se puede mencionar que los ahorros de tiempo y costo son las variables que mas influyen en la selección por este medio de transporte (Correia, 2010; Teal, 1986; Morales Sarriera, 2017). Continuando con las variables relacionadas al viaje, se ha encontrado que aquellas personas con mayores distancias de viaje son mas afines al carpooling (Teal, 1986; Kendall, 1975; Hwang and Giuliano, 1990; Brunso et al., 1979).

Pasando a las variables sociodemográficas, aquellas personas que están casadas (Park et al. 2018; Teal, 1986) o tienen menores ingresos (Teal, 1986; Kendall, 1975; Hwang and Giuliano, 1990; Correia, 2010; Shaheen et al. 2016) son mas propensos a elegir este medio de transporte. Para el caso de la influencia del genero y la edad se encontraron divergencias en los resultados. Por el lado del género, autores concluyeron que las mujeres son mas propensas a formar carpools (Buliung, 2009; Neoh, 2015; Teal, 1986) mientras que otros como Park et. al (2018) no encuentran relación. Del mismo modo sucede con la Edad, los autores que relacionaron linealmente la edad con el carpooling encontraron que las elecciones por este medio aumentan con la edad (Buliung, 2009), disminuyen (Correia, 2009) o no tiene significancia (Neoh, 2015). Mientras que aquellos que dividieron la muestra en grupos de edades, concluyeron que el interés por el carpooling aumenta hasta edades de 25-30 años (Park et al., 2018; Morales Sarriera, 2017). Con respecto a las conclusiones por Neoh (2015) este dijo que puede ser debido a que la relación de la edad con el interés por el carpooling es polinómica.

Por ultimo, en conexión a las variables psicológicas, las personas mas sociables (DeLoach, 2012) o que son interesados por la ecologia (Gheorghiu, 2018; Massaro, 2009) son mas propensas a viajar en carpooling.

1. **METODOLOGIA**
   1. **Datos**

La muestra utilizada en este informe proviene de un experimento de selección realizado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Argentina (UCA) durante el año 2017, el cual tenía el objetivo el diseño de una encuesta para evaluar la oferta y la demanda de una red de carpooling en Buenos Aires. Esta fue publicada en un panel encuestador de la web y también difundida por los integrantes encargados de la realización de la encuesta. Con fines de simplificación y dado el alcance de este trabajo, solo se mencionaran las características de la parte oferente de la encuesta.

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

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

El experimento de selección discreta consistía en mostrarle al encuestado T= 15 escenarios de viaje en distintas condiciones de tiempos y costos, en los que debía elegir la alternativa que escogería si se encontrara en esa situación (Figura 1).

Diagrama

Descripción generada automáticamente

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

*Costo Base Carpool = Costo Base auto – Compensacion Base*

*Compensacion Base = 40% Costo Base auto sin estacionamiento*

y el *tiempo base* igual al tiempo base en auto menos un ahorro de tiempo por usar las líneas HOV, limitado a 15 min:

*Tiempo Base Carpool = Tiempo Base auto – Tiempo Ahorrado*

*Tiempo Ahorrado = 1/3 (tCar-15)*

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

Debido a que existen 85= 32.728 posibles combinaciones de tiempos y costos y solo se utilizan una fracción de ellas (solo 15 de ellas) se realizó un diseño fraccional factorial para la óptima selección de combinaciones. Para ello se utilizo el paquete estadístico de R DOE (Design of experiments).

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

**2.2 – Modelos de Selección Discreta**

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

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

Donde

: utilidad de la alternativa *i* para el individuo *n* en la tarea de selección *t*

: vector de variables que describen las características de la alternativa *i* para el individuo *n* en la tarea de selección *t*

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

: constaste especifica de la alternativa *i* (ASC). Esta captura el efecto promedio de la utilidad de todos los factores que no están incluidos en la función de utilidad. A fines de estimación, es necesario establecer la *ASC* de una alternativa como referencia. Se eligió la del auto para ello

Componentes aleatorias con distribución *iid* Gumbel del máximo

Muchas veces se suele representar la utilidad por medio de la suma de la parte determinística (observable) de la utilidad y de la componente aleatoria.

El tipo de Modelos de Selección Discreta cuando la componente aleatoria es la especificada, se denomina *Multinomial Logit Model.* La formula de probabilidades de estos modelos tiene forma cerrada y compacta (Train,2003):

La estimación de los parámetros β se hace por el método de máxima verosimilitud, quien busca encontrar los parámetros que hagan máxima la probabilidad de obtener la muestra de elecciones observadas. El método consiste en obtener la función de verosimilitud y luego calcular el máximo del logaritmo (Train, 2003)

Donde es 1 cuando la alternativa *i* fue elegida; y sino 0

La estimación de los modelos de elección discreta se realizó en R con la utilización del paquete estadístico *mlogit*.

Para el calculo del choice share de cada medio de transporte, el procedimiento mas popular y recomendado resulta en el promedio de las probabilidades sobre cada individuo decisor.

**3 – RESULTADOS**

Se estimaron varios modelos MNL, el primero de ellos fue un modelo Logit simple con las variables explicativas de tiempo y costo y el modo de viaje: Auto, Carpooling, Charter y Transporte Publico, dejando el auto como referencia, de modo que las constantes especificas de los otros medios se reinterpretan como la diferencia de las de ellas y del auto. Las frecuencias empíricas de selección se encuentran en la tabla 1, evidenciando el atractivo de la alternativa del carpooling; mientras que los resultados de estimación de este modelo en la tabla 2, con un logaritmo de máxima verosimilitud de -5.515. La primera conclusión de este modelo surge de mirar los ASCi y notar que todos son negativos. Esto permite decir que, obviando los efectos del tiempo y costo, el auto es el medio mas valorado por la población en general, seguido por el carpooling, el transporte publico y luego el chárter. Esta superioridad del auto esta explicada por la independencia, flexibilidad y privacidad que tiene sobre los demás. Siguiendo el análisis de las variables, las constantes de tiempo y costo son negativas, lo que es racional por el decir que un minuto o peso mas en el viaje genera desutilidad en la elección de la alternativa. Mediante estos dos coeficientes se puede estimar el valor del tiempo, o mejor dicho, hasta cuanto una persona esta dispuesta a pagar por un minuto menos de viaje. En este caso, este valor es de: 2.3 $Ar(2017) / m = 8 U$S / h. Como comparación, este valor en USA fue calculado del mismo modo en 11U$S/h (Hensher, 2005).

Un segundo modelo fue estimado con el objetivo de calcular la curva de oferta del carpooling. Esta tiene el objetivo de ver como varia el choice share del carpooling mediante un cambio en la compensación que recibían las personas. Para este modelo, a diferencia del anterior, se incluyeron dos constantes de tiempo: una para estimar la desutilidad del aumento del tiempo en el auto-carpool y otra en el charter-transporte público; lo mismo en el costo. Además, se incluyó en la utilidad del carpooling el ratio de la compensación como variable explicativa. Esto se realizo con el objetivo de notar el efecto de un mayor porcentaje de compensación en el viaje, por fuera de los valores absolutos del costo. Los resultados de este modelo se encuentran en la tabla 3, alcanzando una verosimilitud (logaritmo) de -5.467, mejor que el modelo anterior, dada la mayor explicación de las elecciones. Los valores a los que convergieron las dos constantes de tiempo y costo hacen notar la diferencia entre los medios. Al ser en el carpool-auto la constante de tiempo mas negativa y la del costo menos negativa, se concluye que a aquellas personas que viajan en estos dos medios les afecta menos un aumento de costo (son menos sensibles al aumento de precio), pero les afecta mas un aumento de tiempo (valoran mas un ahorro de tiempo) en comparación a los que viajan en chárter o transporte público. Siguiendo con el análisis, la constante del ratio de la compensación es positiva, como se esperaba, lo que hace notar que a medida que la compensación se acerca al valor del costo del viaje en auto: el carpooling es más atractivo.

El ultimo modelo, como se había mencionado, tenía la finalidad de calcular la curva de oferta del carpooling mediante una variación porcentual de la compensación. Para realizarla se utilizó un único viaje por persona con los valores base de tiempo y costo de cada alternativa, y sin considerar los ahorros de tiempo de una línea HOV en el carpooling por cuestiones de factibilidad. La curva de oferta se muestra en la grafica 1, donde se aprecia el choice share de cada medio de transporte en distintos escenarios de porcentaje de compensación que recibe el conductor del carpooling.

Uno de los objetivos del presente trabajo era el de analizar el perfil de personas más propensas a ser oferentes de carpooling. Para ello se crearon otros tres modelos que incluyeron al modelo simple (el primero que se analizó) diferentes variables propias del individuo decisor. Los resultados de la estimación del primero de ellos se encuentran en la tabla 4, obteniéndose un logaritmo de verosimilitud de: -5.484. Este incluía el análisis del: género, situación marital, tenencia de hijos, frecuencia de uso del auto en el mes, distancia promedio de viaje, interés por el auto de la persona y el perfil ecológico; en el carpooling, además de las variables presentes en el modelo simple. Las estimaciones halladas comprobaron que aquellas personas que utilizan el auto con mayor frecuencia o tienen hijos tienen mayor probabilidad de selección del carpooling, lo cual puede estar relacionado a un interés en el ahorro de tiempos, así como a la reducción de gastos mensuales. Del mismo modo, se comprobó que cuanto mas ecológicas sean las personas o mas pasión por el auto tengan, mayor será la probabilidad de elección por este medio. En cuanto al género, el carpooling parece generar mas utilidad en las mujeres, pero esto no se puede comprobar estadísticamente, lo mismo ocurre con las personas que están solteras y la variable que analizaba si las personas que vivían más lejos (o tenían mas tiempo de viaje) eran mas afines al carpooling.

La influencia de la edad en la elección por el carpooling es un debate presente en la mayoría de las publicaciones. Como se mencionó en la revisión de la literatura, ante la diversidad de conclusiones y la idea de que esta tiene una relación polinómica con la utilidad del carpooling (Neoh, 2015), se decidió por incluirla hasta la segunda potencia en el modelo. Antes, se requirió un centrado de esta variable para aliviar los efectos de colinealidad dado que se trabaja con potencias (Aiken y West, 1991; Iacobucci, 2016). Los resultados de la estimación se encuentran en la tabla 5, obteniéndose un logaritmo de verosimilitud de -5.471. Si se grafica la utilidad del carpooling según la edad, obviando los efectos del tiempo y el costo, se obtiene la curva que se muestra en la grafica 2. En esta se comprueba que la utilidad del carpooling aumenta hasta una edad de alrededor de los 21 años, para luego decrecer con esta. En particular, se observa además que la desutilidad que tiene este medio para las personas de edades mas avanzadas (+50) es mayor a la utilidad que representa para las personas mas jóvenes.

Un ultimo modelo tenía la intención de ver como se relacionaba el propósito por el cual las personas iban generalmente a CABA y el Nivel Socioeconómico (NSE) de la persona, con la probabilidad de elección por el carpooling. Para el caso del NSE, se opto por una codificación diferencial, con el objetivo de ver si había diferencias entre pertenecer a un nivel y el inmediatamente superior; y dada la poca cantidad de personas de niveles bajos, se junto a aquellas de D1 e inferiores en un único grupo. Por otro lado, los propósitos de viaje eran diversos y establecidos por la encuesta, necesitando con fines de estimación la referencia de uno, para el cual se escogió: “Ir al trabajo o Universidad”. Los resultados de la estimación de este modelo se encuentran en la tabla 6, alcanzando una verosimilitud (logaritmo) de -5.475. Como primera conclusión, se observa que todos los propósitos tienen coeficientes negativos, lo que sugiere que aquellas personas que van a CABA para “Ir al trabajo o universidad” son los que mas probabilidad de elegir el carpooling tienen, seguidos por los que se “Mueven por trabajo” y los que lo van por “Trabajo y llevar a los hijos al colegio”. En cuanto al NSE, no se hayo una relación lineal entre este y la utilidad del carpooling, si fuera así todos los coeficientes deberían haber sido negativos. Aun así, se comprueba que las personas de NSE mas bajos (D1 e inferiores) son mas probables a utilizar el carpooling que los de más alto (ABC1).

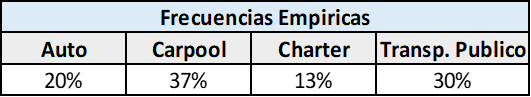
**4 – CONCLUSIÓN**

La alternativa del carpooling como modo de viaje resulto interesante en las personas. Las condiciones de ahorro y tiempo fueron bien recibidas por los encuestados, obteniéndose un amplio porcentaje de elecciones en el experimento de selección frente a alternativas mas populares como el chárter, transporte publico o viajar en automóvil solo.

Además, el aumento en la compensación que recibe el conductor, tal como se comprueba en la curva de oferta, genera una mayor choice share dentro de la población, lo que indefectiblemente ocasiona una menor elección de las restantes alternativas de trasporte. Como comentario, el ahorro en el costo puede ser externo a los integrantes del viaje, mediante alguna política publica o privada. Siendo que se puede lograr a través de un descuento en los peajes, o sean los propios empleadores quienes ofrezcan beneficios de estacionamiento a los trabajadores que opten por esta alternativa. Del mismo modo, con el ahorro de tiempo por las líneas HOV ocurre algo similar. Aun así, la poca factibilidad de que estos carriles existan y al no estar enfocado el trabajo en la viabilidad de una línea HOV en Buenos Aires género que se analice la curva de oferta sin considerar los ahorros de tiempo.

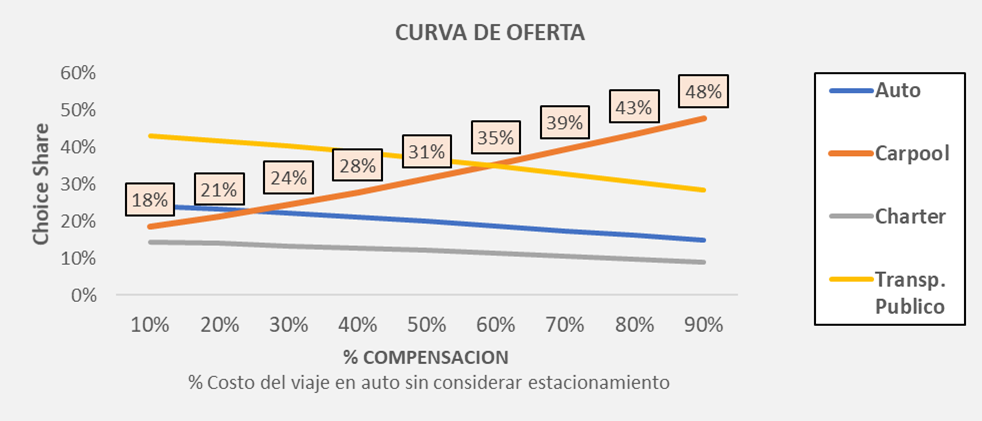
En cuanto a las variables de importancia en la elección del carpooling, se puede decir que al igual que en las otras investigaciones las condiciones de tiempo y costo son de suma relevancia. Además, aquellas personas jóvenes, que usan frecuentemente el auto, se mueven por motivos relacionados al trabajo, corresponden a los NSE mas bajos, tienen hijos, son ecológicas o interesados por los autos tienen mayor probabilidad de elegir el carpooling que las que no.

El presente trabajo abre la puerta a otra investigaciones, entre ellas en análisis de la demanda y su equilibrio con la parte oferente, asi como la aplicación de modelos de selección discreta mas complejos, como puede ser el caso de los Mixed Logit Model o los Modelos Híbridos.



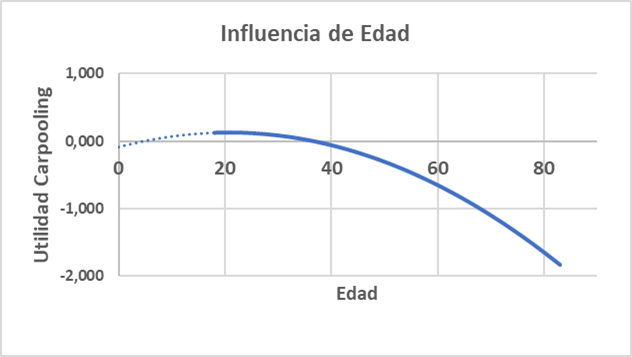
Interfaz de usuario gráfica

Descripción generada automáticamente



Tabla

Descripción generada automáticamente



Interfaz de usuario gráfica, Texto, Aplicación

Descripción generada automáticamente

1. [↑](#footnote-ref-1)