

Los modelos de elección discreta como herramienta para el proceso de toma de decisiones y su aplicación a la planificación de transporte interurbano en Argentina: el caso del corredor Buenos Aires - Mar del Plata¹

Discrete choice models as a tool for the decision making process and its application to interurban transportation planning in Argentina: the case of the Buenos Aires - Mar del Plata corridor

Ezequiel Rubén Ayala

Docente en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Haedo, Buenos Aires, Argentina. Investigador de accidentes de aviación en la Junta de Seguridad en el Transporte (JST). ezequielrayala@gmail.com

Palabras clave: Economía del transporte. Modelos de elección discreta. Demanda de transporte. Logit. Transporte interurbano.

Key words: *Transportation economics. Discrete choice models. Transportation demand. Logit. Interurban transport.*

RESUMEN

En el presente trabajo se recurrirá a la modelización basada en métodos de elección discreta como una herramienta para la aplicación de una estrategia de toma de decisiones mixta (Ortúzar y Willumsen, 1990), donde el decisor la utilice para interactuar con los factores de presión social, mediante una negociación racional, para llegar a conclusiones que permitan maximizar beneficios bajo una perspectiva multimodal.

Se presentará una estimación empírica de los modelos desarrollados, donde se analizarán los datos utilizados y los resultados obtenidos. Finalmente, se realizará una reflexión sobre los productos del análisis efectuado, dando una serie de acciones sugeridas en cuanto a propuestas de estudios complementarios e intervenciones en los sistemas de transporte actuales.

ABSTRACT

In this paper we will use modeling based on discrete choice methods as a tool for the application of a mixed decision-making strategy (Ortúzar and Willumsen, 1990), where the decision-maker uses it to interact with social pressure factors through rational negotiation, in order to reach conclusions that maximize benefits under a multimodal perspective.

An empirical estimation of the models developed will be presented, where the data used and the results obtained will be analyzed. Finally, a reflection will be made on the products of the analysis carried out, giving a series of suggested actions in terms of proposals for complementary studies and interventions in the current transportation systems.

1. INTRODUCCIÓN

Existen numerosas definiciones del transporte interurbano; sin embargo, dejando de lado los aspectos normativos-jurisdiccionales, podríamos considerarlo como aquel que discurre entre uno o más polos urbanos. A su vez, es posible clasificarlo a partir de las características de su objeto: transporte de cargas o de pasajeros. Como vemos, cumple un rol primordial en las perspectivas de desarrollo social y económico del país. Por ello, los esfuerzos rea-

1. Trabajo presentado en el 3er Congreso sobre Medios de Transporte y sus Tecnologías Asociadas, realizado el 29, 30 de septiembre y 1 de octubre de 2021.

lizados por la sociedad (inversiones) deben ser canalizados de forma tal que lleven a una situación cada vez más próxima a la óptima del sistema.

En los últimos sesenta años, las técnicas de modelización del transporte han aportado diversas herramientas para el análisis multimodal enfocado a evaluación de proyectos. Sin embargo, se observa que frecuentemente las decisiones sobre intervenciones en los modos de transporte en Argentina suelen llevarse a cabo desde una perspectiva meramente sectorial. Este enfoque lleva a soluciones sesgadas, sin considerar la totalidad de los parámetros que influyen en la demanda de los viajes. Es por ello que se ve la necesidad de abarcar el problema del transporte desde un planteo integral, librándose así de preconcepciones sobre la implementación de uno u otro modo e ignorando la interrelación que existe con el resto.

La decisión de orientar el estudio hacia el par Buenos Aires-Mar del Plata se debe a que este cuenta con una larga tradición en la prestación de servicios ferroviarios, aéreos y automotores con un motivo de viaje preponderante fácilmente identificable: turismo. Asimismo, cuenta con características geográficas y espaciales que posibilitan la potencial aplicación de diversas tecnologías para la realización del viaje, sin otorgar ventajas preponderantes a algún modo en particular.

El presente trabajo se orienta a poner en práctica una metodología que permita ponderar los factores que influyen en las elecciones que efectúan los pasajeros del corredor, con el fin de evaluar políticas e inversiones en el sistema de transporte. Para ello, se incursionará en los métodos de elección discreta, los cuales logran, por medio de la generación de una función de costo generalizado del viaje, incluir las distintas variables que influyen en la elección del modo a utilizar. Nos basaremos en esta función, con la finalidad de caracterizar y luego cuantificar las ventajas relativas de los distintos modos de transporte que se ven involucrados en el corredor bajo estudio, como así también evaluar pronósticos de demanda derivada bajo escenarios de proyección.

2. METODOLOGÍA

Como primera etapa, se realizó el análisis y propuesta de un estilo de toma de decisiones para el cual diseñamos nuestra herramienta de modelización. Este análisis inicial ilustra aquellos requerimientos que se espera cubrir con la modelización. En el caso del corredor Buenos Aires-Mar del Plata, al tratarse de un corredor cuya dinámica de viajes se encuentra en una etapa madura, se optó por proporcionar herramientas que sirvan en un marco de decisión operativo y táctico.

Acto seguido, se realizó un relevamiento de la información existente, tanto de organismos públicos como privados, a los fines de describir la situación actual del sistema. Luego se definieron la zonificación y la red de transporte, para lo cual se optó por subdividir el AMBA en siete zonas, procurando mantener la división político territorial a los fines de asegurar la concordancia con el nivel de agregación de la información de base.

Una vez acordado el nivel de agregación zonal se procedió al relevo de la partición modal para el año base (2019), como también la cuantificación de los tiempos y costos de viajes en cada uno de los cuatro modos a analizar. Para el caso del transporte automotor, tanto público como privado, se optó por considerar cuatro escenarios de congestión.

Tabla 1 - Costos de viaje y tarifas (en \$ARS valor 2019)

Origen	Automotor			Bus	Tren	Avión		
	Costo SC [\$]	Costo E1 [\$]	Costo E2 [\$]	Costo E3 [\$]	Tarifa característica	Tarifa característica	Tarifa Tradicional	Tarifa LC
Z1	1776	1935	2103	2321	1643	691	3461	2610
Z2	1484	1624	1773	1966	1451	691	3461	2610
Z3	2046	2217	2399	2634	1773	691	3461	2610
Z4	1848	2004	2170	2383	1612	691	3461	2610
Z5	1887	2052	2227	2453	1706	691	3461	2610
Z6	1872	2031	2199	2416	1640	691	3461	2610
Z7	2086	2266	2456	2703	1859	691	3461	2610

Tabla 2 - Tiempo de viaje [min]

Origen	Automotor privado y Bus					Tren	Avión
	Sin congestión [min]	Escenario 1 (20%)	Escenario 2 (40%)	Escenario 3 (60%)			
Z1	294	353	412	470	335	55	
Z2	277	332	388	443	335	55	
Z3	325	390	455	520	335	55	
Z4	290	348	406	464	335	55	
Z5	306	367	428	490	335	55	
Z6	287	344	402	459	335	55	
Z7	344	413	482	550	335	55	

La tercera etapa constó de la propuesta de modelos de elección discreta que resulten funcionales a los requisitos definidos en la primera etapa. Para la estimación de estos modelos se diseñó una encuesta de preferencia declarada (Bliemer, 2016 y Sartori, 2013). que sirvió estrictamente a los requerimientos de los modelos propuestos, asegurando la economía de relevamiento necesaria para que el modelo resulte eficiente.

La cuarta etapa es la modelización misma y el análisis de los resultados obtenidos, junto con la aplicación de las potencialidades que ofrece el método para la evaluación de escenarios proyectados. Estas fueron expuestas mediante la aplicación en escenarios en los que se reduce el tiempo de viaje del modo ferroviario y se afectan los costos de peaje.

3. GENERACIÓN DE LOS MODELOS DE ELECCIÓN DISCRETA

Con el fin de evaluar proyectos de captación de demanda para los modos de transporte público, se optó por aplicar un modelo Logit multinomial (Train, 2014) de dos alternativas. En vista de las características relevadas en la caracterización del corredor, se decidió que el modelo sea sensible, como mínimo, a los siguientes factores: costo, tiempo de viaje y tiempo de acceso.

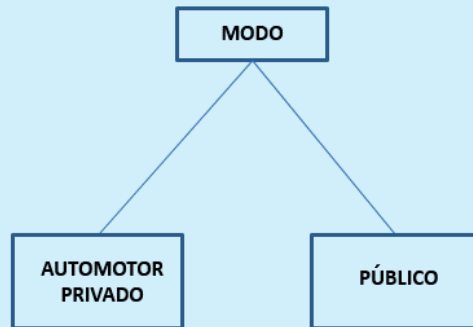
Existe un gran número de variables que pueden resultar de interés para modelar escenarios particulares. Sin embargo, se puede observar cómo las características del servicio y la infraestructura se ven en parte reflejadas en el costo y el tiempo de viaje, por lo cual estas variables resultan aptas para evaluar el impacto de diversos proyectos. Un aspecto particular que se observó durante la caracterización, fue cómo el trayecto urbano comparte en algunos casos el orden de magnitud con respecto al interurbano. Por ello, se decidió que este aspecto no sea ignorado por nuestro modelo.

Se propusieron como funciones de desutilidad las siguientes formulaciones para ambos modos:

$$V_{priv} = \beta_{costo}X_{costo} + \beta_{tiempo_viaje}X_{tiempo_viaje} + \beta_{tiempo_acceso}X_{tiempo_acceso}$$

$$V_{public} = \beta_{costo}X_{costo} + \beta_{tiempo_viaje}X_{tiempo_viaje} + \beta_{tiempo_acceso}X_{tiempo_acceso} + Cte_{public}$$

Figura 1-Árbol de decisión modelo BL



Con el fin de proporcionar la capacidad de pronóstico de partición modal, se optó por aplicar un modelo Logit jerárquico de dos niveles (Train, 2014). En vista de las características relevadas se decidió que el modelo sea sensible como mínimo a los siguientes factores: costo y tiempo de viaje. Para ello, se propuso como funciones de desutilidad, las siguientes ecuaciones para los cuatro modos de transporte considerados:

$$V_{priv} = \beta_{costo}X_{costo} + \beta_{tiempo_viaje}X_{tiempo_viaje}$$

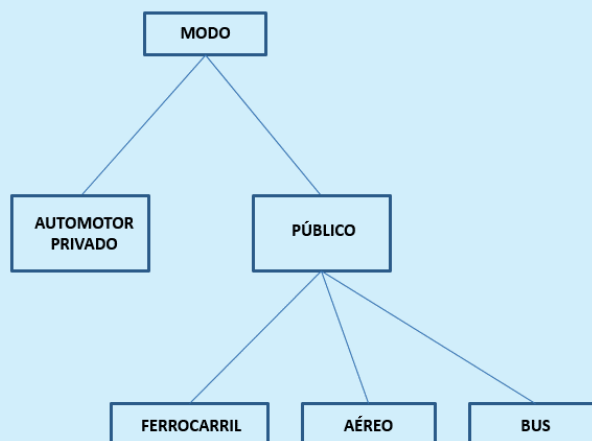
$$V_{Bus} = \beta_{costo}X_{costo} + \beta_{tiempo_viaje}X_{tiempo_viaje} + Cte_{bus}$$

$$V_{Aereo} = \beta_{costo}X_{costo} + \beta_{tiempo_viaje}X_{tiempo_viaje} + Cte_{Aereo}$$

$$V_{Tren} = \beta_{costo}X_{costo} + \beta_{tiempo_viaje}X_{tiempo_viaje} + Cte_{Tren}$$

A continuación, exponemos el esquema de árbol de decisión adoptado:

Figura 2 - Árbol de decisión modelo NL



Se implementó una encuesta de preferencia declarada que sirva de insumo para los modelos de elección discreta propuestos. El relevamiento se realizó por medio de un formulario web, pudiéndose registrar un total de 2.214 elecciones en 25 escenarios de decisión. La formulación de los escenarios de elección se realizó bajo un diseño de pivote, en torno a situaciones de balance de utilidad, calibradas con datos de una encuesta piloto previa (Bliemer, 2006; Sartori, 2013 y Kroes y Sheldon, 1988).

A continuación, se expone la estimación de los coeficientes de las funciones de desutilidad obtenidas mediante la aplicación del modelo BL en R-Studio:

Tabla 3 - Modelo BL

Coefficients	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(> z)
Público:(intercept)	- 0.79354722	0.19423961	- 40.854	4.4e-05
C	- 0.00114772	0.00011917	- 96.307	< 2e-16
Tv	- 0.00934980	0.00151742	- 61.616	7.2e-10
Ta	- 0.01248223	0.00500360	- 24.947	0.01261

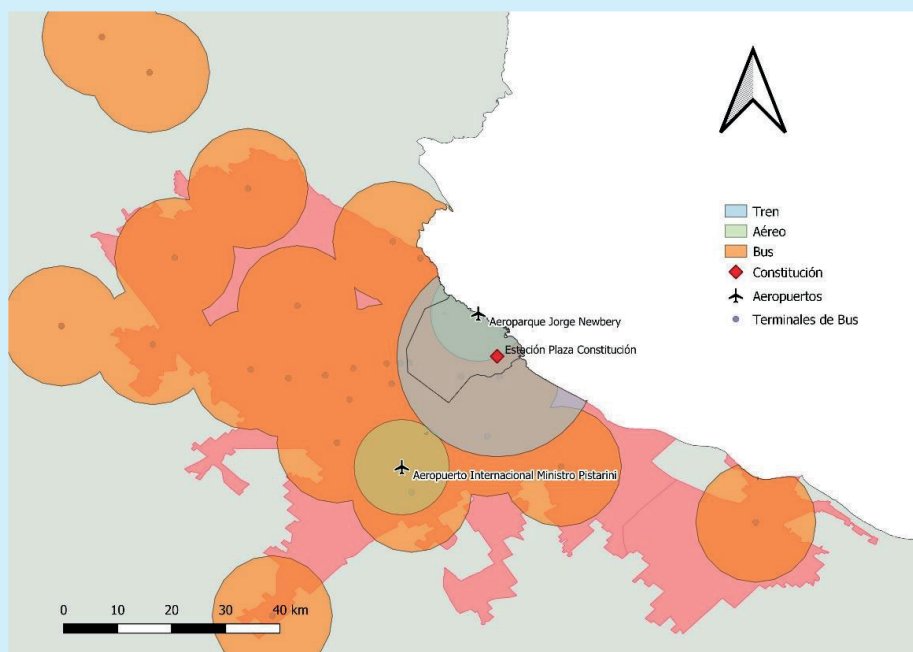
A continuación, se expone la estimación de los coeficientes de las funciones de desutilidad obtenidas mediante la aplicación del modelo NL en R-Studio:

Tabla 4 - Modelo NL

Coefficients	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(> z)
Aéreo:(intercept)	1.19329774	0.65670845	-18.171	0.0692035
Bus:(intercept)	-0.50599541	0.33738180	-14.998	0.1336738
Tren:(intercept)	-0.47115348	0.33409124	-14.103	0.1584647
C	-0.00076139	0.00022713	-33.523	0.0008015
Tv	-0.00620968	0.00203969	-30.444	0.0023313
iv	0.60895017	0.19987546	30.466	0.0023141

A partir de la estimación de los modelos BL y NL, se realizó un análisis de los factores de las funciones de desutilidad obtenidas, como también un análisis territorial de fronteras de acceso en los modos de transporte público.

Figura 3 - Fronteras de acceso



También se utilizó la formulación del modelo NL para el análisis de demanda derivada al ferrocarril en tres escenarios de proyección:

Tabla 5 - Partición modal

	Eactual	E1	E2	E3
Pauto	79%	76,4%	79%	75%
Pbus	15%	10,1%	12%	11%
Paéreo	3%	2,6%	3%	3%
Ptren	3%	10,8%	6%	11%

E1- En este escenario se evaluó cuál sería la partición modal considerando las características de un ferrocarril de mayor velocidad comercial cuyo tiempo de viaje entre cabeceras sea de 4,5 horas, manteniendo el valor de la tarifa actual.

E2 - Ídem al escenario 1, duplicando el valor de la tarifa de tren.

E3 - Ídem al escenario 1, considerando además la implementación de una tarifa turística de peaje para el automotor privado con un 100 % de aumento.

4. CONCLUSIONES

En base a los resultados observados, se puede apreciar que las herramientas obtenidas a partir de la utilización de modelos de elección discreta bajo la metodología expuesta resultan una técnica eficaz para la evaluación de proyectos de transporte interurbano de Argentina. Este método cumple con criterios de economía de tiempos y de recursos, logrando una sensibilidad acorde a las necesidades de información que el decisor requiere bajo una perspectiva táctica u operativa. La relativamente escasa amplitud de proyección temporal de los resultados se vio compensada por la adaptabilidad del método, ya que su economía de aplicación permitiría generar modelos específicos que se ajusten a los requerimientos con los que el decisor debe interactuar en el momento de la evaluación de un proyecto.

Se pudo apreciar que en el corredor Buenos Aires – Mar del Plata existe un potencial de financiamiento de proyectos que otorgan reducciones en el tiempo de viaje, producto del excedente del consumidor que ocasionaría dicha disminución. Asimismo, se observó cómo el modo automotor privado responde inelásticamente a las variaciones de las tarifas de peajes. Este fenómeno podría justificar la implementación de tarifas más altas para aquellos viajeros que en principio se trasladen con fines turísticos, de forma tal de servir de fuente de financiamiento para obras de mejora de la vialidad. Además, estas obras podrían orientarse a generar una disminución del tiempo de viaje, como circunvalaciones en aquellas áreas donde la vialidad interfiere con el ejido urbano. De esta forma, se generaría un ciclo virtuoso, ya que las mejoras en tiempo de viaje disminuirían la desutilidad del viaje, pudiendo incluso llegar a una situación donde se compense el incremento tarifario. Llegado este punto, se lograría autofinanciar obras sin afectar negativamente la demanda de viajes con motivo turístico y otorgar una infraestructura mucho más eficiente para el resto de las actividades económicas a las cuales presta servicio el corredor.

En el desarrollo del trabajo se logró visualizar la complejidad de análisis que presenta el transporte interurbano de pasajeros y cómo este se encuentra íntimamente relacionado con la estructura de oferta del transporte urbano. Ya en los inicios del planteo del problema se percibió la necesidad de vincular la dimensión espacial dentro de las variables explicativas. Con lo cual se pudo observar cómo en extensas zonas del AMBA el componente de desutilidad respecto del acceso al modo toma valores del mismo orden de magnitud que las propias del viaje interurbano. Este parámetro indicó una relativa inelasticidad de la demanda respecto de las características del viaje interurbano, dando como resultado una porción de demanda cautiva en los modos automotor privado y público.

Otro aspecto de relevancia para la evaluación de proyectos es el análisis territorial de los costos sensibles observados. Esta representación permite delimitar áreas de influencia modal, las cuales ilustran qué partición de la

población se ve afectada por las acciones tomadas en cada modo en particular. En este caso se pudo mensurar el efecto que posee la capilaridad del modo automotor privado frente a, por ejemplo, la limitada cobertura del modo ferroviario.

Finalmente, resulta menester profundizar con respecto del tramo urbano, puesto que este aspecto demostró ser de suma importancia dentro del proceso de elección modal por parte del usuario. Los costos monetarios y en tiempo resultaron en muchos casos ser del mismo orden que los propios al viaje interurbano, por lo cual resulta lógico concluir que gran parte de las políticas que afectan la partición modal de estos viajes interurbanos se ven determinadas por aquellas políticas que se toman en el tramo urbano. Esto da pie a plantear que, para asegurar una correcta implementación de los proyectos en el tramo interurbano, estos deben ser concordados y coordinados con los actores del trayecto urbano. Al analizar el escenario de mejoras en el tiempo de viaje ferroviario, se observó cómo las características de conectividad de la estación de Constitución tomaron un rol preponderante en la estructura del costo generalizado. Es por ello que, en ese caso, los cambios en la captación de la demanda se verían afectados en mayor medida por una mejora en el acceso a la terminal más que por mejoras en el viaje interurbano en sí.

Referencias:

- Kroes, Eric y Sheldon, Robert (1988). Stated Preference Methods in Transport Research. *Journal of transport economics and policy*. pp. 11-25, University of Bath.
- Ortúzar, Juan de Dios y Willumsen, Luis G. (1990). *Modelización del Transporte*. 1ra. edición. Universidad de Cantabria.
- Bliemer, Michiel C.J. (2006). Designing Stated Choice Experiments: State-of-the-Art, 11th International Conference on Travel Behaviour Research, Kyoto.
- Sartori, Juan José Pompilio (2013). *Diseño de encuestas de preferencias declaradas para la estimación del valor de los ahorros de tiempo y el pronóstico de la demanda de servicios de transporte urbano de pasajeros*. Facultad de Ciencias Económicas - Universidad Nacional de Córdoba.
- Train, Kenneth E. (2014). Métodos de elección discreta con simulación, 2da. edición, <https://es.scribd.com/document/393593230/Metodos-de-Eleccion-Discreta-Con-Simulacion>