

MODELACIÓN DE VIAJES INTERURBANOS DE PASAJEROS EN SISTEMAS INTERMODALES DE BAJA DEMANDA

✉ THOMAS EDISON GUERRERO BARBOSA*
VÍCTOR CANTILLO**
SINDRY CAMARGO***

RESUMEN

Son frecuentes los casos en los que se plantea evaluar opciones para el mejoramiento en el nivel de servicio de un sistema de transporte en el contexto interurbano, siendo este el caso del corredor del Magdalena Medio en Colombia, donde hay tres modos en interacción: carretero, fluvial y ferroviario. Para la planificación de este tipo de sistema para transporte de pasajeros, caracterizado por su baja demanda, se propone un enfoque metodológico que incluye la toma de información directa en puertos, terminales y a bordo de vehículos, involucrando las características que definen el nivel de servicio de los modos y complementada con encuestas de Preferencias Reveladas (PR) y de Preferencias Declaradas (PD), lo cual sigue el desarrollo de modelos para estimar la demanda. Como parte de la modelación se especifica una red intermodal, para lo cual fue necesario realizar un inventario de los servicios y de las características de los arcos. Un aspecto interesante es que el enfoque metodológico ha permitido la combinación de distintas fuentes de información, provenientes de datos agregados y de encuestas a individuos tanto de PR como de PD. La experiencia práctica demuestra que se pueden presentar inconvenientes en las especificaciones en los modelos cuando las interacciones en los atributos o los efectos de las variables no incluidas apropiadamente afectan decisiones individuales. La aplicación demuestra que hay percepciones subjetivas fuertemente asociadas a un modo de transporte que afectan significativamente la elección.

PALABRAS CLAVES: corredor intermodal; preferencias declaradas; preferencias reveladas; elasticidades; valor del tiempo; modelación; demanda.

MODELING INTERCITY PASSENGER TRIPS IN LOW DEMAND INTERMODAL SYSTEMS

ABSTRACT

Frequently transportation planners require evaluating the impact of alternatives proposed to improve the level of service for passengers in intercity low demand corridors. That is the case of the Middle Magdalena corridors, in Colombia, where there are three modes interacting: road, river and rail. For planning such systems we propose a methodological

* Ingeniero civil, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. Magíster en Vías y Transportes, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia. Docente tiempo completo e investigador Grupo GIGMA, Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, Colombia.

** Ingeniero civil, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia. Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Universidad Católica de Chile. Profesor Asociado, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.

*** Ingeniera civil, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia. Magíster en Vías y Transportes, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia. Secretaría de Movilidad de Barranquilla, Colombia.

✉ *Autor de correspondencia:* (T.E Guerrero-Barbosa).
Universidad Francisco de Paula Santander, sede La Granja,
Vía al Algodonal, Ocaña, Colombia. Teléfono: 561 00 88
Ext 227. Correo electrónico: teguerrerob@ufps.edu.co

Historia del artículo:
Artículo recibido: 13-III-2013 / Aprobado: 24-VII-2013
Discusión abierta hasta diciembre de 2014

approach that involves taking direct information on ports, terminals and on board vehicles, including revealed preferences (PR) and stated preference (PD) surveys. During the modeling process it was specified an intermodal network that required an inventory of the services and the infrastructure. An important aspect is that the methodological approach allowed the combination of different sources, coming from aggregated data and PR as PD individual surveys. The experience on the field shows that it may have trouble in the specifications in the models when interactions in the attributes or effects of variables not properly affect individual choices. The application demonstrates that subjective perceptions are strongly associated with a mode of transportation that significantly affect the choice.

KEYWORDS: Intermodal Corridor; Stated Preference; Revealed Preference; Elasticities; Value of Time; Modeling; Demand.

MODELAÇÃO DE VIAGENS INTERURBANOS DE PASSAGEIROS EM SISTEMAS INTERMODAIS DE BAIXA DEMANDA

SUMÁRIO

São freqüentes os casos nos quais expõem-se avaliar opções para o melhoramento no nível de serviço dum sistema de transporte no contexto interurbano, este é o caso do corredor do Magdalena Medio em Colômbia, onde há três modos em interação: viário, fluvial e ferroviário. Para o planejamento deste tipo de sistema para transporte de passageiros, caracterizados por su baixa demanda, propõe-se um enfoque metodológico que inclui a tomada de informação direta em portos, terminais e a bordo de veículos, envolvendo as características que definem o nível de serviço dos modos e complementadas com enquête de Preferências Reveladas (PR) e de Preferências Declaradas (PD), o qual segue o desenvolvimento de modelos para estimar a demanda. Como parte da modelação especifica-se uma rede intermodal, para o qual foi necessário realizar um inventário dos serviços e das características dos arcos. Um aspecto interessante é que o enfoque metodológico permitiu a combinação de diferentes fontes de informação, provenientes de dados agregados e de enquetes a individuos tanto de PR como de PD. A experiência prática demonstra que podem-se apresentar inconvenientes nas especificações nos modelos quando as interações nos atributos o nos efectos das variáveis não incluídas apropriadamente afetam decisões individuais. A aplicação demonstra que tem percepções subjetivas fortemente associadas a um modo de transporte que afetam significativamente a eleição.

PALAVRAS-CHAVE: Corredor intermodal; preferências declaradas; preferências reveladas; elasticidades; valor do tempo; modelação; demanda.

1. INTRODUCCIÓN

No es frecuente encontrar referencias sobre la modelación de corredores intermodales de baja demanda involucrando tres modos en competencia y a la vez complementarios, aunque no integrados: carretero, fluvial y ferroviario. Este estudio hace énfasis en el análisis de la demanda de un corredor multimodal de transporte de pasajeros con características interurbanas en la zona del Magdalena Medio Colombiano, el cual permite la integración económica, social y cultural entre centros urbanos en los extremos y puntos intermedios, de carácter rural. El corredor intermodal del Magdalena

Medio cuenta con una longitud aproximada de 150 km y cubre zonas ubicadas en un complejo petrolero en la cuenca media de la más importante arteria fluvial del país; su principal centro urbano es la ciudad de Barrancabermeja con una población cercana a 190.000 habitantes, situada a 120 km de Puerto Berrío (42.000 habitantes) y a 30 km de Puerto Wilches (32.000 habitantes), los cuales corresponden a centros urbanos que limitan los extremos de dicho corredor. Otras poblaciones que hacen parte de las zonas internas del área de estudio son: Puerto Parra (7.000 habitantes), Cimitarra (38.000 habitantes) y Simacota (8.500 habitantes).



Dentro de un contexto de modelación de demanda, son diversos los factores que influyen en la elección modal de viajes interurbanos. Investigaciones en Reino Unido (Wardman, 2006) describen algunos de estos factores como el tiempo de viaje en automóvil, propiedad del automóvil, costos de viaje, costos de combustible, población y el ingreso per cápita. La explicación hecha por Ortúzar y Willumsen (2011), dice que para llevar a cabo el proceso de modelación es necesario definir las especificaciones del modelo: elegir una estructura coherente con las condiciones del problema que se trata, establecer las formas funcionales que se dan dentro de esta estructura (por ejemplo lineales) y especificar las variables de entrada, que sean explicativas del fenómeno tratado (en este caso los patrones de viajes) y seguidamente definir la información necesaria para nutrir el modelo y la manera de buscar dicha información, siempre y cuando sea viable técnica y económicamente. Bajo el contexto de modelación de demanda a nivel interurbano, Yao y Morikawa (2005) estiman modelos integrados de demanda de viajes interurbanos.

El uso de datos de PR y PD de manera independiente presenta cuestionamientos ampliamente conocidos, destacando que en los modelos estimados con datos de PR su fortaleza radica en el realismo y su debilidad reside en la riqueza estadística de los atributos, situación inversa en los datos de PD, sobre los cuales hay control en los datos pero se tiene incertidumbre sobre la elección real. Una alternativa cada vez más popular consiste en explorar la estimación de modelos de demanda combinando ambas fuentes de información, buscando aprovechar las ventajas y superar las limitaciones de cada tipo de datos (Louviere, Hensher y Swait, 2000). En la práctica, muchas investigaciones (Ahern y Tapley, 2008); (Román, Espino y Martín, 2007); (Cherchi y Ortúzar, 2006); (Espino, Román y Ortúzar, 2006) han tenido éxito con este tipo de metodología, aunque hacen recomendaciones según el ámbito de modelación, dado que en algunos casos pueden haber problemas importantes en la especificación de los modelos debido a interacciones en los atributos o los efectos de variables latentes cuando afectan decisiones individuales y en el proceso de pasar de la estimación a la predicción, en particular, al estimar parámetros conjuntos del modelo se debe verificar que estos sean internamente consistentes con la teoría

microeconómica en los modelos independientes antes de estimar el modelo que combina ambas fuentes de información. Dentro de los referentes bibliográficos locales se destacan los procedimientos metodológicos a nivel urbano aplicados (Sarmiento y Bermúdez, 2002) y (Moreno, Sarmiento y González, 2011), los cuales pueden extenderse al ámbito interurbano.

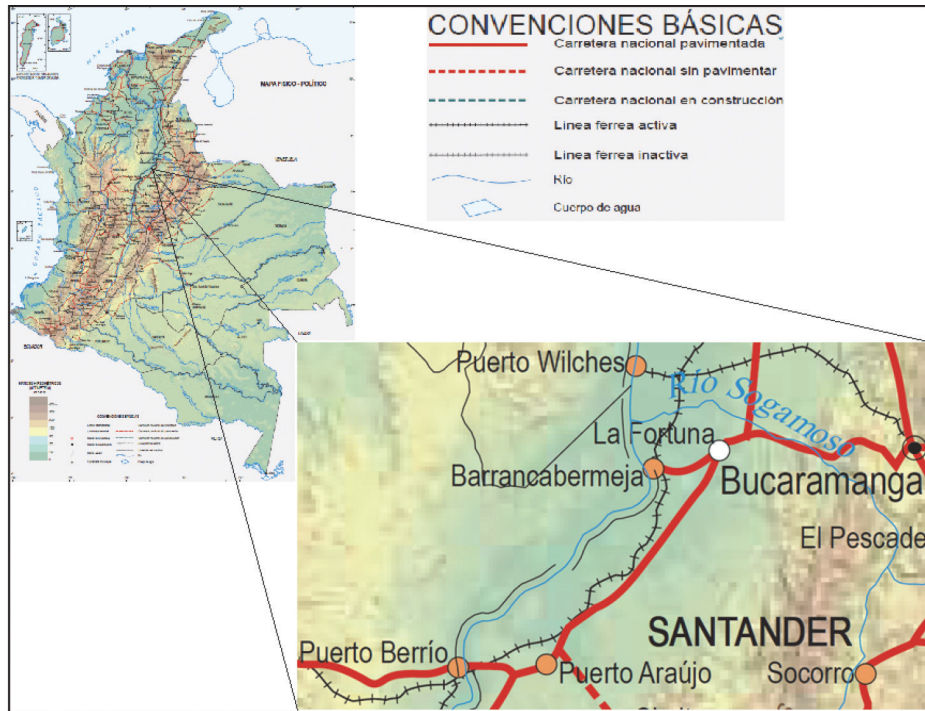
Los datos necesarios para la estimación de la demanda en este estudio provinieron de encuestas de PD y PR, aplicadas en las terminales, puertos y estaciones situadas en los centros urbanos del corredor para cada modo estudiado. Adicionalmente se realizaron inventarios de los servicios de transporte para caracterizar la oferta y estimar la demanda global, lo cual implicó identificar rutas y sus recorridos, frecuencia de despacho y costos, además de efectuar aforos a los distintos modos en servicio.

Dado que comúnmente la demanda actual no siempre es suficiente para justificar el diseño de rutas que ofrezcan servicios directos entre un par origen-destino, y en otros casos, la gran demanda no es cubierta por razones, entre las cuales se destaca, la falta de infraestructura, problemas de orden público y seguridad, bajos presupuestos gubernamentales, entre otros, es natural que los individuos siempre busquen solución a sus necesidades de transporte. Por lo anterior es frecuente que los individuos utilicen servicios informales, realicen transbordos combinando modos o caminen largas distancias para satisfacer sus deseos de viajes. En este trabajo se presenta un ejemplo práctico de modelación de la demanda de pasajeros, analizando el impacto de la implementación de mejoras en los servicios ferroviarios sobre un corredor multimodal de características interurbanas. Además de ello se muestran estimaciones de valores del tiempo y disposiciones a pagar de los usuarios del corredor intermodal estudiado (Ortúzar y González, 2002).

2. CONTEXTO DE ESTUDIO

El corredor intermodal estudiado se encuentra ubicado en los departamentos de Santander y Antioquia (Colombia), la zona comprende los municipios de Barrancabermeja, Puerto Berrío, Puerto Parra, Puerto Wilches, Cimitarra y Simacota. La zona es atravesada por el río Magdalena, la principal arteria fluvial del país,

Figura 1. Zona de influencia del estudio e infraestructura de transporte



y paralela a este se encuentra la línea férrea que actualmente presenta un bajo nivel de servicio, prestado con equipos obsoletos y frecuencias bajas, correspondiente a 5 despachos/diarios en la ruta Barrancabermeja – García Cadena (Puerto Wilches) y 1 despacho/diario en la ruta Barrancabermeja – Puerto Berrío. A su vez, la infraestructura vial está conformada por una red que comunica entre sí a los municipios anteriormente descritos. La ubicación de los municipios en la zona de estudio y la infraestructura existente se observa en la **Figura 1**. Es importante resaltar que algunas poblaciones aledañas al río sólo tienen acceso por modo fluvial y por ende es su única alternativa de transporte.

3. FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Modelos de elección discreta (MED)

Los modelos de elección discreta son utilizados en distintas ramas del análisis de demanda, como marketing, economía e ingeniería de transporte. Dichos modelos se sustentan en teorías de comportamiento individual, postulando que: «La probabilidad de que un

individuo escoja una alternativa dada, es función de sus características socioeconómicas y su atracción relativa hacia esa opción» (Ortúzar y Willumsen, 2011).

Según la Teoría de Utilidad Aleatoria (TUA), "La utilidad de la alternativa j para el individuo q , U_{jq} , está representada por la suma de un término conocido por el modelador y otro aleatorio (Domencich y McFadden, 1975) (Williams, 1977), como se aprecia a continuación:

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad (1)$$

Aquí, V_{jq} representa la parte medible o determinística de la utilidad, que es función de un conjunto de atributos X_{jkq} ; por otra parte, ε_{jq} refleja el comportamiento, gustos individuales e idiosincrasia de los individuos; además de cualquier error de medición que haya cometido el modelador. El modelo es capaz de explicar cómo dos individuos con los mismos atributos y con el mismo conjunto de alternativas disponibles, pueden elegir de forma distinta, o que un individuo no siempre opte por la alternativa con mayor utilidad (desde el punto de vista del modelador). Así, un individuo q elegirá la alternativa j solamente si:



$$U_{iq} \geq U_{iq}, \forall A_i \in A_q \quad (2)$$

En particular, si el error se asume independiente e idéntico y sigue la distribución Gumbel, se tiene el popular modelo Logit Multinomial (MLN); otros supuestos sobre la naturaleza y características del error definen diferentes modelos.

3.2 Encuesta de preferencias reveladas (PR)

Son datos que reflejan el comportamiento actual de los individuos en sus decisiones de viaje. Permiten recoger información de las variables que explican la atractividad de las distintas alternativas y las características de la elección. El formato a diligenciar de encuestas de PR para los usuarios de los tres modos actuales en competencia permitió indagar por información inherente al viaje actual en el modo escogido (origen, destino, transbordos, costos, tiempos de viaje y otros indicadores del nivel de servicio) e información socioeconómica del encuestado (ocupación, género, edad, ingresos, etc.).

3.3 Encuesta de preferencias declaradas (PD)

El objetivo de estas encuestas ha sido proveer la información necesaria para estimar una función de demanda por el nuevo servicio, mejorando la operación del sistema férreo. El estudio se enfocó hacia tres mercados potenciales: los usuarios del modo carretero, usuarios del modo férreo y usuarios del modo fluvial.

Las encuestas PD aplicadas en el estudio se realizaron en las terminales y estaciones de cada modo estudiado. No se aplicaron encuestas PD a bordo de ningún tipo de vehículo debido a la dificultad e incomodidad que se sometía a los encuestados al momento de diligenciar los instrumentos mientras los vehículos estaban en movimiento. Existe amplia experiencia en la aplicación de este tipo de instrumento de medición que ha demostrado su alta eficiencia en términos de la calidad de la información obtenida (Ortúzar, *et al.*, 1994).

El diseño de la encuesta, enfrentando los modos, consideró como atributos el costo del tiquete (tarifa), el tiempo de viaje en vehículo y el intervalo entre vehículos (relacionado con la frecuencia). Los dos primeros atributos presentan tres niveles de variación y el último

Tabla 1. Movilización de pasajeros en el corredor estudiado

Modo	Pasajeros/día	%
Férreo	500	17 %
Bus	700	23 %
Auto	1.500	50 %
Fluvial	300	10 %
Total	3.000	100 %

dos. La combinación de estos tres atributos y sus niveles de variación dio lugar a un diseño fraccional factorial con nueve situaciones de elección (Kocur, *et al.*, 1982). En total se aplicaron 67 encuestas de PD a usuarios de transporte ferroviario, 56 a usuarios de buses y 84 a usuarios del transporte fluvial. En lo que respecta al tema de la cantidad mínima de entrevistas requeridas, Ortúzar y Willumsen (2011) basados en las investigaciones reportadas por Pearmain y Swanson (1990), Bradley y Kroes (1990) y Swanson, *et al.*, (1992), determinan que el número de individuos a encuestar corresponde alrededor de 75 y 100 por segmento de mercado, garantizando de esta forma una buena calibración de modelos. En total se obtuvieron 207 encuestas debidamente diligenciadas y validadas, dato que sobrepasa el número mínimo recomendado de encuestas. Este tamaño muestral ha permitido un nivel de confianza en la estimación de los parámetros del 95 %.

Paralelamente a las encuestas, se realizaron aforos y encuestas de interceptación en los distintos modos. En el caso del ferrocarril, se realizaron aforos de ascenso y descenso y encuestas origen y destino a bordo de los vehículos. Para el modo carretero se realizaron encuestas de interceptación y aforos en tres estaciones seleccionadas que permitían cuantificar el volumen global de viajes en el corredor estudiado. A su vez, en los tres puertos fluviales más importantes de la zona se hicieron aforos y encuestas de las embarcaciones que zarpaban y arribaban. Los datos de movilización de pasajeros entre las zonas internas del estudio, aproximados al múltiplo de 50, se presentan en la **Tabla 1**. Puede notarse que cerca de la mitad de los viajes se realiza en auto, gran parte de ellos en taxis y vehículos particulares que prestan servicio de transporte colectivo. A su vez, los desplazamientos en bus representan el 23 % de

los viajes, seguido por el ferrocarril, con 17 % de la participación del mercado. Los volúmenes de viajes contabilizados datan alrededor de los 3.000 por día, cifra muy inferior a los registrados en los corredores troncales en los cuales se desplazan normalmente más de 10.000 pasajeros diarios, indicando que se trata de un corredor de baja demanda donde cuatro modos ofertan servicios de transporte.

4. ESPECIFICACION Y ESTIMACIÓN DE MODELOS

El modelo de demanda planteado se basa en el uso de datos mixtos PR/PD. En este caso, la estimación conjunta se ha realizado siguiendo el enfoque de escalamiento, que implica el cálculo de un factor de escala, dado por la relación entre las varianzas de cada conjunto de datos (Ben-Akiva y Morikawa, 1990). El factor de escala afecta los datos de PR.

La función de utilidad modal fue definida en términos de los principales atributos del nivel de servicio así como también de las características socioeconómicas de los individuos. Se logró estimar algunas utilidades marginales de interacciones entre las variables socioeconómicas y atributos inherentes al nivel de servicio (Espino, Román y Ortúzar, 2006). Se incluye la interacción de la variable «*qpagau*» (variable muda que vale 1 si la persona encuestada paga su pasaje, 0 en otro caso) con la variable costo de viaje; también fue posible analizar la variable socioeconómica «*Motet*» (variable muda que toma el valor de 1 si el motivo de viaje es trabajo, 0 en otro caso). Además de las variables ya nombradas, la utilidad para las alternativas expuestas en el experimento de PD (una nueva ruta mejorada en modo férreo, modo carretero y modo fluvial) es especificada como una función de los atributos incluidos en el experimento de elección: costo de pasaje, tiempo de viaje y frecuencia de viaje.

Fueron estimados modelos tipo Logit Multinomial (MNL) y Logit Mixto - ML (cuyos parámetros aleatorios corresponden al tiempo de viaje y frecuencia de despacho), no obstante, también fueron consideradas varias especificaciones incluyendo modelos Logit Jerárquico (HL); de hecho el parámetro de correlación que caracteriza la agrupación de todos los subconjuntos de alternativas correlacionadas en

jerarquías o nidos no resultó ser significativo a un nivel de confianza del 95 %, razón por la cual no resultó superior al tradicional MNL, que es más parsimonioso.

La estimación de los modelos se muestra en la **Tabla 2**, donde se definieron los modos férreo, carretero y fluvial como 1, 2 y 3, respectivamente. Puede notarse que se fijó en cero (0) la constante modal correspondiente a modo fluvial. En los modelos MNL_1, MNL_2 y MNL_3 se estimaron parámetros específicos para el tiempo de viaje, considerando que puede haber percepciones diferentes referidas a viajar en cada uno de ellos, lo cual posteriormente permitió la estimación de valores subjetivos del tiempo según la elección modal (Román, Espino y Martín, 2007); entretanto, en el modelo ML_1, el parámetro del tiempo de viaje se consideró aleatorio, facultando ello la hipótesis de variaciones individuales en la percepción del atributo.

La variación sistemática del parámetro del costo respecto de el que paga, muestra que cuando es el individuo quien paga es mayor la desutilidad marginal del costo respecto de cuando lo hace la empresa o un tercero. Se aprecia, por otra parte, que es mayor la desutilidad marginal del tiempo para el viaje en el modo fluvial y menor en el caso de los buses.

Es claro que el modelo que presenta mejor ajuste es el ML de variaciones aleatorias, dado que es el que presenta la menor razón de verosimilitud $l(\theta)$ respecto a los demás modelos, además de arrojar la mayor estimación de ρ^2 y evidencia variaciones significativas en los gustos para niveles de confianza del 95 %. Se destaca que en el 18 % de los casos el parámetro del tiempo es positivo, lo cual se puede interpretar como que se trata de personas que disfrutan de viajar, hecho sobre el cual existen evidencias (Mokhtarian y Salomon, 2001). Es interesante notar que el 15 % de los encuestados se desplazaba por motivos relacionados con ocio y turismo.

4.1 Valoración de atributos

Los modelos permiten estimar las disposiciones a pagar (DP) por mejoras marginales en los atributos. De especial interés es la estimación del valor subjetivo del tiempo (VST), dado por la tasa marginal de sustitución entre el tiempo y el costo. En la **Tabla 3** se presentan los VST medidos para el corredor intermodal de características interurbanas de baja demanda. En general, los VST



Tabla 2. Estimación de resultados

Parámetro	MNL_1	MNL_2	MNL_3	ML_1
ASC1	-3,95 (-2,48)	-3,68 (-2,36)	-3,79 (-2,39)	-1,99 (-1,55)
ASC2	-5,8 (-3,65)	-5,53 (-3,55)	-5,63 (-3,56)	-5,21 (-4,41)
ASC3	0 -	0 -	0 -	0 -
Costo (c) (1,2,3)	-0,000418 (-4,00)	-0,000417 (-3,99)	-0,000316 (-3,24)	-0,000545 (-9,80)
Tiempo (t) (1,2,3)				-0,0583 (-9,05)
Tiempo (t) (1)	-0,0337 (-4,49)	-0,0336 (-4,48)	-0,034 (-4,48)	
Tiempo (t) (2)	-0,023 (-4,13)	-0,0229 (-4,13)	-0,0232 (-4,13)	
Tiempo (t) (3)	-0,0656 (-4,78)	-0,0659 (-4,77)	-0,0663 (-4,74)	
Frecuencia (f) (1,2,3)	-0,0132 (-4,38)	-0,0132 (-4,37)	-0,0132 (-4,32)	-0,0299 (-6,56)
Motet (3)		0,689 (+2,32)	0,43 (+1,45)	
Costo (qpagau) (1,2,3)			-0,000135 (-1,97)	
μ	0,591 (-2,90)	0,594 (-2,86)	0,583 (-2,98)	0,345 (-3,55)
σ (Tiempo)				-0,0634 (-9,98)
σ (Frecuencia)				-0,0433 (-10,10)
ρ^2	0,118	0,12	0,12	0,307
l (0)	-1752,3	-1752,3	-1752,3	-1752,3
l (θ)	-1535,8	-1531,9	-1529,3	-1214,8
Observaciones	2070	2070	2070	2070

son más bajos cuando la persona que viaja es la misma que percibe el costo del boleto. Dado que fue posible obtener parámetros específicos del tiempo para cada modo, se estimaron VST para estos, observándose que los viajeros en modo fluvial tenían la mayor valoración del tiempo y los viajeros por carretera cuentan con las valoraciones más bajas. Esta última tendencia puede deberse a que los servicios prestados en este modo y su actual infraestructura no se encuentra en condiciones favorables.

La DP por mejoras en la frecuencia de despacho, entendida como la cantidad de dinero que están

dispuestos los usuarios a pagar por disminuir en un minuto el intervalo entre vehículos, se presenta es de COL\$=29 cuando paga el individuo y de COL\$=41 cuando paga un tercero o la empresa. No es de extrañar que estos valores resulten menores que los del tiempo de viaje considerando que los individuos, conocedores de los horarios de despacho, viajan a las terminales en la hora de su conveniencia; por lo cual generalmente no hay un tiempo de espera asociado con las frecuencias. Esta situación suele ser diferente al caso del transporte urbano donde los sistemas de información al usuario en tiempo real pueden hacer que se tenga una valoración diferente del tiempo de espera en estación o paradero,

Tabla 3. Mediciones de VST

	Modo férreo	Modo carretero	Modo fluvial
VST (COL\$/min)*	81,8	55,8	159,4
VST cuando paga el usuario	75,4	51,4	147,0
VST cuando paga otra persona	107,6	73,4	209,8

*1US\$=2000COL\$ aproximadamente

Tabla 4. Estimaciones de elasticidades

Elasticidad/ Modo	Férreo	Carretero	Fluvial
Costo	0,595	0,699	0,990
Tiempo	0,507	0,282	0,760
Frecuencia	0,370	0,194	0,263

Tabla 5. Predicciones para el 20 % de incremento en el costo del boleto

Política/Modos	Férreo	Carretero	Fluvial
$\Delta P(\%)$ (1)	-10,2 %	11,9 %	0,4 %
$\Delta P(\%)$ (2)	12,3 %	-18,6 %	3,4 %
$\Delta P(\%)$ (3)	0,1 %	6,2 %	-4,4 %

Tabla 6. Predicciones para el 20 % de reducción en el tiempo de viaje

Política/Modos	Férreo	Carretero	Fluvial
$\Delta P(\%)$ (1)	10,4 %	-11,1 %	-0,4 %
$\Delta P(\%)$ (2)	-7,8 %	11,1 %	-1,7 %
$\Delta P(\%)$ (3)	-0,1 %	-6,6 %	4,5 %

Tabla 7. Predicciones para el 20 % de incremento en la frecuencia de despacho

Política/Modos	Férreo	Carretero	Fluvial
$\Delta P(\%)$ (1)	14,4 %	-15,6 %	-0,4 %
$\Delta P(\%)$ (2)	-9,0 %	11,6 %	-1,1 %
$\Delta P(\%)$ (3)	-0,1 %	-0,7 %	0,4 %

donde normalmente hay variabilidad e incertidumbre en las frecuencias, por lo cual el tiempo de espera es un atributo relevante.

4.2 Análisis de elasticidades

Para evaluar medidas de política a tomar en el corredor, se analizaron elasticidades de la demanda para los distintos modos respecto del costo, el tiempo y la frecuencia. Los valores se presentan en la **Tabla 4**, en la cual se evidencia que la demanda del modo fluvial

es altamente sensible al costo del tiquete y al tiempo de viaje. Para los tres modos estudiados, la frecuencia de despacho es el atributo que menos afecta.

4.3 Análisis de intervenciones sobre el corredor para mejorar el nivel de servicio

Es posible realizar predicciones de demanda a partir de la implementación de mejoras en el servicio que consideren reducciones y/o incrementos de algunos de los atributos de las alternativas. Las políticas o intervenciones contempladas consideran variaciones en las tarifas, reducciones en los tiempos de viaje y aumento en las frecuencias de despacho (reducción de tiempos entre las salidas de modos). La respuesta de la demanda ante los posibles cambios hechos mediante mejoras en el servicio es representada como el porcentaje de cambio en la partición agregada de la alternativa j con respecto a la situación inicial:

$$\Delta P_j = \frac{P_j^1 - P_j^0}{P_j^0} * 100 \quad (3)$$

Donde: ΔP_j (%) corresponde al porcentaje de cambio en la partición de mercado para el modo j con respecto a la situación inicial; P_j^0 es la partición de mercado inicial para el modo j ; P_j^1 es la partición de mercado para el modo j después de implementada la mejora en el servicio.

Las **Tabla 5**, **Tabla 6** y **Tabla 7** muestran las predicciones utilizando el modelo MNL3 después de aplicadas las políticas de incremento y reducción en el costo del boleto, tiempo de viaje y la frecuencia de despacho. El primer caso que se consideró (1) corresponde a la aplicación de cambios sobre el modo férreo; el segundo caso (2), corresponde a la aplicación de cambios sobre el modo carretero y finalmente el caso (3) en el cual se considera al modo fluvial.



Dado que uno de los objetivos del estudio es poder realizar mejoras al nivel de servicio del modo férreo, es evidente que dichas mejoras son más significativas cuando se implementan cambios positivos en el tiempo de viaje y cuando hay incrementos en la frecuencia de despacho. Puede notarse que el modo fluvial es el menos sensible a las políticas, lo cual se explica porque en gran parte del corredor es el único modo por el cual algunas comunidades tienen accesibilidad. Claramente, las políticas tendientes a mejorar el modo férreo impactan principalmente el modo carretero.

5. CONCLUSIONES

A lo largo del trabajo se analizan varios aspectos de la modelación de viajes sobre un corredor multimodal interurbano de baja demanda donde se tienen en competencia los modos férreo, carretero y fluvial. Utilizando información conjunta proveniente de datos de PR y PD, se estimaron modelos desagregados que permitieron evaluar políticas referentes a mejorar el nivel de servicio para el modo ferroviario, encontrándose que dicha mezcla de diferentes fuentes de información arrojó resultados favorables, recomendando su uso y pertinencia para este tipo de modelaciones.

Como resultado de la aplicación práctica del modelo se evidencia que existen diferencias en la valoración del tiempo entre los usuarios de los modos, siendo mayor para el modo fluvial y menor para los usuarios de la carretera. A su vez, en el modelo involucrando un parámetro aleatorio para el tiempo de viaje, la probabilidad de que sea positivo (utilidad marginal positiva del

tiempo de viaje) es sensiblemente similar a la proporción de usuarios que viajaba con motivo turismo o placer. Por otra parte, también resulta interesante anotar que la desutilidad marginal del costo es mayor cuando es el mismo viajero quien paga el pasaje.

Respecto del análisis del impacto de intervenciones o políticas tendientes a mejorar el transporte ferroviario, se notó que la ganancia en la partición modal de dicho modo se hace a costa principalmente del modo carretero, con muy poca afectación del modo fluvial.

Si bien los servicios ferroviarios son ofrecidos como una alternativa más de viaje interurbano sobre el corredor intermodal con respecto a los transportes por carretera y fluvial, este necesita ser mejorado de gran manera. Las modelaciones realizadas muestran que servicios ferroviarios con altos estándares en el nivel de servicio permiten valorar más favorablemente este modo respecto a las otras dos alternativas. En la actualidad, el servicio del tren sobre el corredor intermodal no es un servicio de alto nivel, mientras que los servicios por carretera y fluvial son mucho más competitivos. Hay muchas compañías privadas de servicios de transporte por carretera que operan en las rutas interurbanas sobre el corredor ya mencionado, causando que dicho servicio sea de calidad alta.

Futuras investigaciones sobre corredores con las características descritas se enfocarán hacia el impacto sobre red en el proceso de asignación y en la posibilidad de ofrecer servicios combinados, logrando integración operacional y tarifaria entre los modos de transporte que actualmente están en competencia.

REFERENCIAS

- Ahern, A.A. and Tapley, N. (2008). The Use of Stated Preference Techniques to Model Modal Choices on Interurban trips in Ireland. *Transportation Research Part A*, 42(1) January, 15–27.
- Ben-Akiva, M. y Morikawa, T. (1990). Estimation of Travel Demand Models from Multiple Data Sources. In: *Proceedings 11th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*. Yokohama, Japón.
- Bradley, M. and Kroes, E. (1990). Forecasting Issues in Stated Preference Survey Research. 69th. TBR Annual Meeting, Washington DC, EE.UU.
- Cherchi, E. and Ortúzar, J.D. (2006). On Fitting Mode-Specific Constants in the Presence of New Options in RP/SP Models. *Transportation Research Part A*, 40(1) January, pp 1–18.
- Domencich, T. and McFadden, D. (1975). *Urban Travel Demand: A Behavioral Analysis*. Amsterdam: North-Holland Publishing Co.
- Espino, R., Román, C. and Ortúzar, J.D. (2006). Analysing Demand for Suburban Trips: A Mixed RP/SP Model with Latent Variables and Interaction Effects. *Transportation* 33(3), 241–261.

- Kocur, G., Adler, T., Hyman, W., and Aunet, B. (1982). *Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment*. Report N° UMTA-NH-11-0001-82, Urban Mass Administration, US Department of Transportation, Washington, D.C.
- Louviere, J., Hensher, D. and Swait, J. (2000). *Stated Choice Methods: Analysis and Application* Cambridge. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Mokhtarian, P. and Salomon, I. (2001). How Derived is the Demand for Travel? Some Conceptual and Measurement Considerations. *Transportation Research Part A - Policy and Practice* 35(8) September, pp. 695-719.
- Moreno, D., Sarmiento, I. and González, C. (2011). Políticas para influir en la elección modal de usuarios de vehículo privado en universidades: caso universidad de antioquia. *Revista Dyna*, 78(165), pp. 101-111.
- Ortúzar, J.D. and González, R.M. (2002). Inter-Island Travel Demand Response with Discret Choice Models. *Journal of Transport Economics and Policy*, 36, Part 1, pp. 115-138.
- Ortúzar, J.D. y Willumsen, L.G. (2011). *Modelling Transport* (4ª Edición Corregida). Chichester: John Wiley and Sons.
- Ortúzar, J.D., Iacobelli, A.; Ivelic, A.M. and Munizaga, M. (1994). Evaluating Private Highway Projects Under Concession: Route Choice Modelling with Mixed RP/SP Data. *Proceedings 22nd European Transport Forum*, University of Warwick, Inglaterra, 12-16.
- Pearmain, D. and Swanson, J. (1990). The Use of Stated Preference Techniques in the Quantitative Analysis of Travel Behavior. *Proceedings of the IMA Conference on Mathematics in Transport*, University of Cardiff, Wales.
- Román, C., Espino, R. y Martín, J.C.. (2007). Competition of High-Speed Train with Air Transport: The Case of Madrid-Barcelona. *Journal of Air Transport Management*, 13, pp. 277-284.
- Sarmiento, I. and Bermúdez, I. (2002). Estimación de la demanda para una Estación de la Línea 3 del Metro de Medellín. *Boletín Ciencias de La Tierra*. Volumen 14, pp. 5-9.
- Swanson, J., Pearmain, D. and Loughhead, K. (1992). Stated Preference Sample Sized Proceedings. 20 th PTRC Summer Annual Meeting. University of Massachusetts Institute of Science and Technology.
- Wardman, Mark. (2006). Demand for rail travel and the effects of external factors. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation* 42 (3), 129-148.
- Williams, Huw. (1977). On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit. *Environment and Planning* 9A, pp. 285-344.
- Yao, Enjian y Morikawa, Takayuki. (2005). A Study of an Integrated Intercity Travel Demand Model. *Transportation Research Part A*, 39(4) April-June, pp. 367-381.

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /
PARA CITAR ESTE ARTIGO /**

Guerrero-Barbosa, T.G.; Cantillo, G. y Camargo, S. Modelación de viajes interurbanos de pasajeros en sistemas intermodales de baja demanda. *Revista EIA*, 10(20) julio-diciembre, pp. 101-110. [Online] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14508/reia.2013.10.20.101-110>