

Un modelo híbrido de probabilidad de elección para la estimación de la demanda de Quitocable

Juan Pablo Lojano G.¹ , Alex Rojas² , Vilma Rojas³ 

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Av. 12 de abril s/n, Cuenca, Ecuador.

² FCIIAEE, Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Tulcán, Ecuador.

³ SOLVER

Autores para correspondencia: ingjpl@hotmail.com, alessi1985@hotmail.com, luz-elisa@hotmail.com

Fecha de recepción: 15 de julio de 2017 - Fecha de aceptación: 20 de septiembre de 2017

RESUMEN

Los modelos tradicionales para el cálculo de demanda de pasajeros basados en la predicción a través de variables cuantificables como el tiempo, costo de servicios, precios de servicios (tarifa), el género, entre las principales, han sido largamente utilizados dentro de los procesos de modelación de la elección final del usuario. No obstante, una nueva corriente de investigación desarrollada en los últimos años ha incluido, dentro de los análisis y modelos de demanda, aspectos de relevancia como el comportamiento humano, medido por intermedio de las llamadas variables latentes (variables no cuantificables de forma directa). Así, el presente artículo pretende estimar, por intermedio de un modelo híbrido, la probabilidad de elección de un sistema de cable (Quitocables). Los resultados muestran una robustez de estos modelos en relación con los modelos de elección discreta tradicionales.

Palabras clave: Quitocables, modelación híbrida, sistema de transporte.

ABSTRACT

The traditional models for the calculation of demand based on prediction through quantifiable variables such as time, cost, fare, gender, among the main ones, have been extensively used for modeling processes of the final user choice. However, a new trend of research developed in recent years has included aspects of relevance such as human behavior measured by latent variables (variables not directly quantifiable) within the analysis and demand models. This article aims to estimate through a hybrid model the demand for the Quitocables system. The results show a robustness of these models in relation to traditional discrete choice models.

Keywords: Quitocables, Hybrid modeling, transport system.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de la planificación de nuevos sistemas de transporte, el cálculo de la demanda de pasajeros o usuarios siempre ha sido uno de los principales puntos que determinan su viabilidad. Así, una proyección de demanda de pasajeros sobreestimada o subestimada pueden generar valores operacionales y financieros muy atractivos, o eventualmente negativos, para la inversión pública o privada. Esa búsqueda constante de una proyección adecuada y más real ha conllevado una evolución en la forma de calcular la demanda (Heredia, 2015). Tradicionalmente, los primeros modelos usados para el cálculo de la demanda fueron modelos llamados agregados. Estos modelos permitían un tratamiento de datos únicamente agrupado según determinadas características como el sexo, la edad y el grado de escolaridad (Heredia, 2015; Timms, 2008). Esta forma de tratar los datos ha recibido una

serie de críticas, pues en su desarrollo se asume que las variables analizadas se comportan en función de su media aritmética (Rojas & Rojas, 2017). Esto causa que ciertos comportamientos de los usuarios no sean percibidos y, por lo tanto, no puedan ser analizados por los modelos agregados, acabando por tener una visión macro en donde todos los usuarios se comportan de forma parecida y no actúan de forma contradictoria (Fowkes, Nash, & Whiteing, 1985; Hoyos, 2012).

La necesidad de repensar los modelos agregados dio origen a los modelos desagregados o también conocidos como de segunda generación (Hoyos, 2012). Estos modelos trabajan la demanda enfocada en la elección realizada por cada individuo, que se enfrenta a un conjunto de alternativas y que solamente podrá elegir la que maximice su utilidad dado un conjunto de restricciones como costo y tiempo (McFadden 1975). La literatura reporta que este tipo de modelos permiten una mayor flexibilidad en el conocimiento de las experiencias y preferencias individuales de los usuarios (Ben-Akiva *et al.*, 2002; Melero, Coto Millan, & Sainz González, 2016). Esa característica de flexibilidad solo es posible porque estos modelos se basan en la teoría de la utilidad aleatoria que postula que todos los individuos son racionales y escogen dentro de un conjunto de alternativas disponibles (Ortúzar & Willumsen, 2011).

Estos modelos también llamados de elección discreta, aunque poseen ventajas, ignoran el efecto de las actitudes y percepciones subjetivas (Yáñez, Raveau, & Ortúzar, 2010), modelando apenas variables como el sexo, ingresos mensuales, posesión de vehículos y preferencias como responsables de la elección de un determinado modo de transporte. Ante esto, varios estudiosos del área desarrollaron metodologías basadas en modelos que integran variables latentes con modelos de elección discreta (Ben-Akiva *et al.*, 1999; McFadden, 2000). Ben-Akiva *et al.* (2002) consideran que este tipo de modelación puede ser considerada como híbrida porque fácilmente identifica variables clásicas como el sexo, tiempo y costo, así como elementos intangibles asociadas a las características psicológicas de los individuos (percepciones y actitudes) (Melero *et al.*, 2016). De esta forma, la inclusión de elementos intangibles o también llamados como variables latentes, han tomado fuerza en la literatura (Ashok, Dillen, & Yuan, 2002; Bolduc, Bouchner, & Álvarez-Daziano, 2008; Bollen, Kirby, Curran, Paxton, & Chen, 2007; Daziano & Rizzi, 2015; Larrañaga, 2012; Maldonado, 2014; Melero *et al.*, 2016; Rojas, 2018; Paulsen, Temme, Vij, & Walker, 2014; Temme, Paulssen, & Dannewald, 2007), permitiendo que este tipo de modelación híbrida haya sido evaluada en los diversos modos de transporte (motorizados y no motorizados).

Por tanto, modelar la demanda de transporte contemplando variaciones en las percepciones y actitudes, se ha convertido en un gran reto que vale la pena asumir. Bajo esa perspectiva los modelos de elección discreta híbridos se presentan como una buena alternativa para el cálculo de la probabilidad de elección de la demanda. De esta forma, este artículo pretende modelar el uso potencial del sistema Quitocable, a través de una modelación híbrida de elección discreta.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta sección pretende familiarizar al lector con las diferentes técnicas usadas en este estudio, con la finalidad de modelar el uso potencial del sistema Quitocables. Para ello, se utilizó los modelos de elección discreta que están basados en la teoría de la utilidad aleatoria, donde la utilidad del individuo q al escoger A_j , viene dada por:

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

donde V_{jq} es la utilidad representativa y E_{jq} es el error de la componente aleatoria. La utilidad representativa asume una combinación lineal de atributos medibles X :

$$V_{jq} = \sum_{k=1}^n \theta_{jk} X_{jkq} \quad (2)$$

donde los parámetros θ_{jk} , son constantes para los individuos. Aunque la teoría de la utilidad aleatoria es clara en considerar que el individuo racional escogerá la alternativa de mayor utilidad, es lógico pensar que algunos individuos consideraran otras alternativas atribuyéndose entonces un error aleatorio E_{jq} , condicionando así la probabilidad P_{jq} de escoger una alternativa. Esa condición se resume en la siguiente fórmula:

$$P_{jq} = Prob\{E_{iq} < E_{jq} + (V_{jq} - V_{iq}), \forall A(q)\} \quad (3)$$

Considerando lo anteriormente expuesto se observa que los modelos de elección discreta permiten considerar cierta aleatoriedad en forma de un error. Sin embargo, esta presunción no considera de manera explícita las percepciones y actitudes de los individuos que pueden afectar de manera significativa la elección de una alternativa.

Esta última consideración fue abordada por Ben-Akiva *et al* (1999), por medio de los denominados modelos híbridos, donde se incluye variables latentes, que corresponden a variables no observadas p psicológicas. La incorporación de estos factores psicológicos permite que el proceso de elección sea más entendido en función del verdadero comportamiento de las personas. Para incluir las variables latentes se utiliza un modelo denominado como de Múltiples Indicadores y Múltiples Causas (MIMIC), que usan como base los sistemas de ecuaciones estructurales, los cuales presentan una estructura básica que es representada con la siguiente fórmula (Bollen, 1989):

$$\eta = \Gamma x + \zeta \quad (4)$$

donde, η representa un vector latente (seguridad, comodidad); x (vector de dimensión) representa un conjunto de variables directamente observables (edad, sexo); ζ representa una medida aleatoria con media cero y matriz de covarianza Ψ y Γ denota los parámetros a ser estimados. Para que el modelo MIMIC sea estimable se debe normalizar la escala de las variables latentes, para esto se recomienda fijar en 1 cualquier elemento distinto de cero (Stapleton, 1978).

Para la estimación posterior del modelo se utiliza la función de utilidad que incorpora las variables latentes como un atributo adicional sobre los atributos originales, conforme se muestra en la siguiente ecuación (Bolduc *et al.*, 2008):

$$P(d=1 | y, x, \alpha, \beta, \Delta, \Gamma) = \int \Pi(\delta = 1 | \eta, \alpha, \beta) g(\psi | \eta, \Lambda) h(\eta | \xi, \Gamma) d\eta \quad (5)$$

donde Γ corresponde al conjunto de parámetros a estimar (α, β, ψ). Esta ecuación es una integral de compleja solución que solo puede ser resuelta de dos maneras, la primera de forma simultánea y la segunda de forma secuencial. En ambos casos debe suponerse que la función se distribuye de forma normal (Ugrinovic, De Dios Ortúzar, & Rizzi, 2009). La forma de estimación escogida para este estudio será la secuencial y será especificada en el siguiente apartado.

2.1. La estimación secuencial

Para la estimación de forma secuencial la literatura apunta dos etapas. La primera etapa se refiere a la estimación del modelo MIMIC, por medio de ecuaciones estructurales, usando los diversos datos disponibles por parte del investigador, los cuales se describen en la Sección 2.2. El modelo busca explicar cómo están dadas las relaciones entre múltiples variables (Larrañaga, 2012). A partir de este punto se obtienen estimadores para cada variable latente y para cada individuo.

La próxima etapa relaciona los factores latentes individuales (Seguridad y Comodidad) obtenidos del ajuste anterior con la estimación ordenada de los modelos logit. La variable dependiente asume un valor de 0, 1, 2, 3 y 4 para los individuos que pretenden realizar 0, 1, 2, 3 y 4 viajes respectivamente. La estimación del modelo viene dada por el principio de máxima verosimilitud donde los coeficientes marginales de las variables independientes (Sexo, Escolaridad y Edad) están en una categoría superior.

La razón de haber escogido esta forma de estimación es debido a la confiabilidad de sus resultados y por ser la más utilizada en la práctica (Ashock *et al.*, 2002).

No obstante, este modelo tiene un problema serio, no garantiza estimadores insesgados de las variables involucradas (Bollen, 1989, Raveau *et al.*, 2010). Al mismo tiempo las desviaciones estándares de los parámetros se subestiman, lo que provoca estimadores con un nivel de significancia estadísticamente más alto que el real. Aunque esto puede solucionarse mediante una simple corrección de varianzas como lo sugiere Murphy & Topel (1985). Esta corrección se vuelve exponencialmente complicada en la medida que el número de variables incrementa, por tal razón este estudio no realiza este tipo de corrección.

2.2. *El caso de estudio: Quitocables*

El proyecto Quitocables surge como necesidad de mejorar la movilidad de las personas residentes en los barrios altos del Distrito Metropolitano de Quito. En su gran mayoría estos asentamientos poblacionales poseen condiciones topográficas que impiden la dotación de servicios de transporte convencionales. Para verificar la viabilidad del proyecto el municipio contrató la realización del estudio de Demanda del Sistema de Transporte por Cable, el mismo estuvo a cargo de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (2015).

De esta manera, el 4 de mayo de 2015, el Concejo Metropolitano de Quito mediante la Ordenanza No. 60, estableció el marco jurídico para la implementación y operación del Subsistema de transporte de pasajeros por teleférico, funicular y otros medios similares, denominado “QUITOCABLES”, como parte del Sistema Metropolitano de Transporte Público de Pasajeros. En ese contexto este medio de transporte representa un caso de análisis muy adecuado ya que la información disponible es variada tanto en características de los usuarios potenciales como en gustos de estos.

Para la realización del modelo serán utilizados los siguientes bancos de datos, que consideran la probable elección de este modo de transporte:

- Metro-Madrid: Modelo de la Red (Estudio Metro de Quito - 2011).
- Cal y Mayor: Matriz calibrada (base Estudio de Demanda - 2011).
- PUCE (2015): Consultoría “Estudio de Demanda del Sistema de Transporte por cable del DMQ” (2015) base de datos de preferencias declaradas.
- PUCE (2015): Consultoría “Modelación Integrada de Demanda del Proyecto Quitocables” (2015).

A partir de estos datos se puede extraer información relacionada con la percepción del usuario en relación con la seguridad y la comodidad de los medios de transporte. Este estudio considera básicamente dos modos de transporte: (1) Puro (Quitocables) y (2) otros modos de transporte (trolebús, bicicleta, caminar, taxi, camioneta, etc.). Los datos para esta modelación híbrida corresponden a un tamaño muestral de 541 casos analizados (Quintana Villacis, 2017). Para verificar el cálculo del tamaño muestral y el universo poblacional ver Quintana Villacis (2017).

2.3. *Aplicación del modelo*

Como fue mencionado anteriormente, para este estudio se utiliza el enfoque de estimación secuencial, para esto se realizó un análisis de componentes principales en todo el modelo descrito en la Figura 2, donde se determinaron dos factores (análisis factorial) que explican mayoritariamente la varianza de la información. En otras palabras, los factores estudiados fueron confirmados y están relacionados con la presencia de las variables latentes: seguridad y comodidad. La variable seguridad está relacionada a aspectos de seguridad vial y seguridad contra robos, entretanto que la variable comodidad está relacionada al espacio disponible en el medio de transporte y la disponibilidad de asientos. También se consideró información disponible relacionada con las variables socioeconómicas y la escolaridad de los encuestados.

2.4. Metodología

La Figura 1 describe la metodología utilizada en esta investigación.

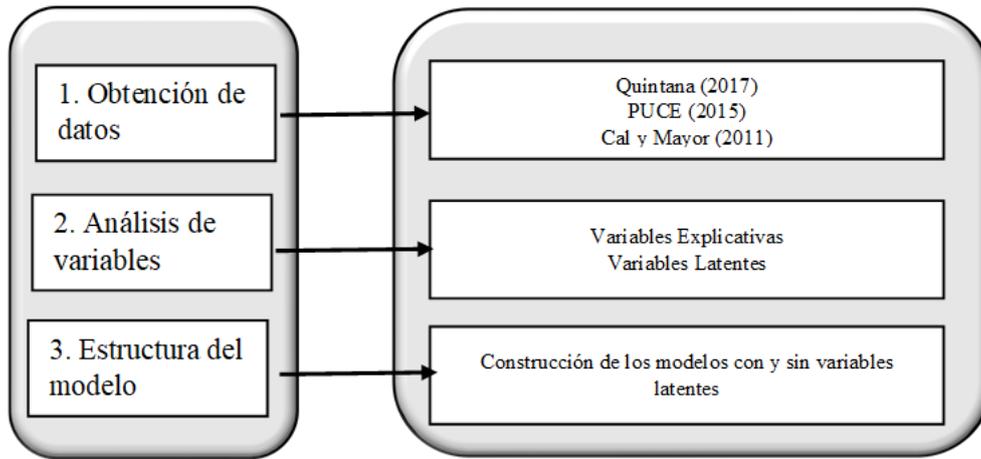


Figura 1. Metodología.

En primer lugar, los datos de ingreso corresponden a las encuestas de preferencia declarada realizadas por Quintana (2017), en conjunto con las encuestas de preferencia declarada realizadas por la PUCE (2015) y como datos complementarios se utilizó también la matriz de Cal y Mayor (2011). Una vez realizado este análisis, se consideraron tres variables explicativas (Género, Escolaridad y Edad) y dos variables latentes (seguridad y comodidad) para el modelo de ecuaciones estructurales. Las interrelaciones finales de las variables fueron tratadas con la técnica de análisis factorial, que sirve para determinar la construcción de los factores latentes y su correlación, con la finalidad de poder garantizar la correcta formación del constructo psicológico (seguridad y comodidad).

Así, fueron construidos los diversos modelos con y sin variables latentes. Para el modelo con variables latentes también fue construido el modelo estructural. Bollen (1989) reporta la estructura de las variables latentes, así, la Figura 2 presenta el modelo estructural obtenido en este proceso y la clasificación de las variables definidas como exógenas (variables sin error), tales como Género, Escolaridad (con correlación) y Edad. Las dos variables latentes del tipo endógenas (variables que poseen error) que son seguridad y comodidad y las variables o parámetros endógenos que son la seguridad vial seguridad robos, comodidad asientos y comodidad espacios (es importante indicar que, aunque la Figura 2 no presenta los errores en las variables endógenas el mismo esta sobrentendido).

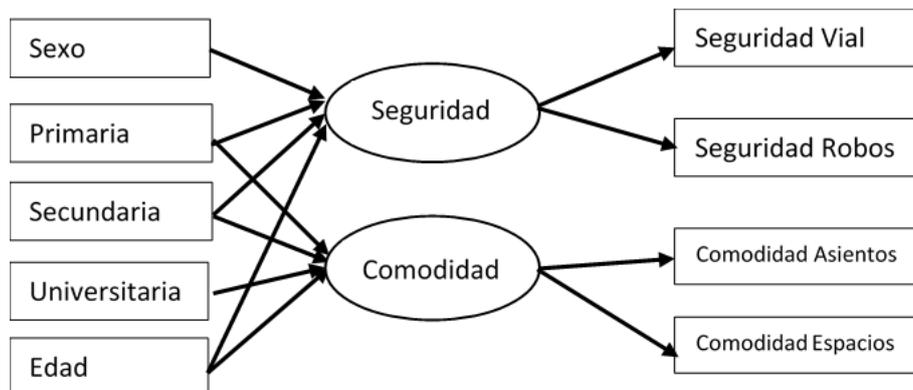


Figura 2. Estructura del modelo.

El siguiente procedimiento es determinar la Utilidad del modo que es un producto escalar, en donde se incluye las variables latentes para el modelo de utilidad representativa (valoración para determinar cuánto representa en probabilidad), la forma general de esta función obtenida del estudio de Ugrinovic *et al.* (2009), corresponde la mejor especificación la cual se muestra en la siguiente a continuación:

$$Viq = Qcosto \cdot \frac{Costo}{wq(Qsexo \cdot Sexoq)} + Seguridad \cdot Bseg + Confort \cdot Bconf \quad (6)$$

donde:

Viq: utilidad del modo (cable) viene en probabilidad

Q: vector de la regresión lineal

Costo: valor de la tarifa, estudio

W: otro costo intervalo

Género M: proporción

Género F: proporción

Seguridad: carga factorial

B: constante de la carga factorial para seguridad

seg: representa seguridad vial oh robos

Comodidad: carga factorial

B: constante de la carga factorial para comodidad

Conf: representa la comodidad de asientos y espacios

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se analizaron los resultados obtenidos en el modelo, incluyendo variables latentes y sin variables latentes. Las distintas estimaciones fueron realizadas por el software libre Biogeme (Bielare & Fetiarison, 2009), este programa fue desarrollado específicamente para realizar este tipo de modelos de elección discreta. Todos los cálculos realizados recibieron el tratamiento estadístico test-t y también el log-verosimilitud que son las formas de verificar el ajuste del modelo y su significancia para explicar el fenómeno de estudio. La Tabla 1 muestra la descripción de las variables explicativas usadas para construir el modelo final que será presentado en la Tabla 2.

La Tabla 1 muestra la estadística descriptiva de las variables explicativas analizadas con el objetivo de verificar su tendencia central y su nivel de variación en relación con la media calculada para cada una de ellas. Para el modelo se realizó una definición binaria de las variables debido a que esta es una recomendación realizada por Ugrinovic *et al.* (2009) para poder resolver el modelo estructural.

Tabla 1. Descripción de las variables explicativas.

Variable	Media	Desviación Estándar
Sexo 0; 1 (Hombre1)	0.46	0.50
Primaria	0.40	0.39
Secundaria	0.38	0.35
Universitaria	0.22	0.32
Edad	45	18.60
Numero de observaciones	541	541

Analizando los resultados (Tabla 2), se puede observar que los signos negativos establecen una des-utilidad, esto significa que las personas observan como un aspecto negativo que se relaciona con la elección del medio de transporte. Esto tiene sentido en función de lo establecido por Bollen (1989),

mientras que los valores con símbolos positivos representan una utilidad marginal, la cual era esperada en concordancia con la teoría microeconómica que ubica las pérdidas como negativas y las ganancias como positivas. En relación con las variables analizadas, los modelos con o sin variables latentes reflejan un valor próximo en relación con el género, siendo este un valor bastante confiable. Trabajos como los realizados por Larrañaga, Rizzi, Arellana, Strambi, & Cybis (2016), también mostraron que el género es condicionante en las percepciones y actitudes de las personas. Las variables relacionadas con el grado de escolaridad o instrucción poseen la misma tendencia negativa, aunque resulta interesante que, para el modelo sin variables latentes, son menos representativas, lo cual también se podría haber esperado puesto que las constantes de los modelos siempre resultan ser más significativas que en los modelos híbridos (Ugrinovic *et al.*, 2009). Con esto se comprueba que existen ciertas variables explicativas que explican mejor las percepciones de los individuos.

Tabla 2. Modelo final.

Variable	Modelo sin variables latentes	Modelo con variables latentes
Sexo	0.028	0.029
Primaria	-0.034	-0.001
Secundaria	-0.030	-0.001
Universitaria	-0.009	-0.018
Edad	0.021	0.022
Seguridad	-	0.030
Confort	-	0.041
Número de observaciones	541	541
Log-verosimilitud	-98,730.12	-44,234.34

La edad de los encuestados también refleja una des-utilidad, siendo casi coincidente con el modelo híbrido, resultando en otro valor confiable para el análisis final. Sin embargo, la edad en el modelo de ecuaciones estructurales hace relación a una influencia de forma positiva o negativa a las percepciones de seguridad y comodidad, siendo igual a los resultados reportados en diferentes literaturas (Rojas & Rojas, 2017; Rojas, 2018). A modo de ejemplo se puede analizar que la percepción de la seguridad aumenta con la edad, así como la percepción de comodidad, este resultado coincide con otros estudios realizados a nivel internacional por Ugrinovic *et al.* (2009); Johansson, Heldt, & Johansson (2005) y Temme *et al.* (2007). Con relación a las variables latentes, la seguridad y la comodidad resultan ser condicionantes en la hora de una determinada elección, el modelo híbrido explica una cierta utilidad atribuida por las personas hacia estas variables. Si se desea analizar más la percepción de seguridad, resulta que la misma está ligada a percepciones creadas por las personas en relación con la serie de accidentes de tránsito y a la falta de seguridad vial y física de los otros medios de transporte. El modelo refleja la percepción de la utilidad con relación a los accidentes de tránsito. Hecho que coincide con el incremento alarmante de accidentes en nuestro país y la importancia de la seguridad en los medios de transporte (García *et al.*, 2016). A modo de afirmación, un nuevo sistema de transporte como los Quitocables, que opera de manera automática sin factor humano y sin riesgos de operación, se ve reflejado con un alto índice de percepción positiva que acaba potenciando y parece ser muy atractivo para los potenciales usuarios del sistema.

De la misma forma la seguridad relacionada a la presencia de guardias de seguridad en las estaciones de este nuevo sistema de transporte también actúa de una forma positiva. El modelo explica que las personas se sienten más tranquilas con la presencia de seguridad en estaciones. En relación con la comodidad del espacio y la disponibilidad de asientos, el modelo arroja una utilidad muy superior, resultando ser la variable que más explica la posible elección de este modo de transporte. En este contexto a mayor percepción de seguridad y comodidad, por parte del usuario, mayor será la probabilidad de elección de este medio de transporte.

4. CONCLUSIONES

El uso de nuevos modelos de demanda se ha incrementado en los últimos años puesto que los mismos integran variables subjetivas dentro del análisis de la elección de las personas. Las diferentes percepciones de los individuos muchas de las veces presentan un valor más explicativo que las variables tradicionales. En este contexto, el presente trabajo identifica y determina la probabilidad del uso de Quitocables basado en dos variables latentes que son la seguridad y la comodidad, a través del modelo MIMIC.

Este modelo presenta evidencias que el nuevo sistema de transporte por pasajeros es percibido de una buena manera entre los potenciales usuarios. Aspectos relativos a la seguridad y la comodidad son decisivos a la hora de elegir este medio de transporte. Por otro lado, en base al análisis realizado, es posible afirmar que existen diferencias entre el modelo de elección discreta tradicional y el modelo híbrido, como se puede verificar en la Tabla 2. En el primer caso se puede evidenciar una cierta tendencia del modelo a explicar cómo el grado de escolaridad influencia las personas por una determina elección. En el caso del modelo híbrido, esta variable solo posee un valor estadísticamente representativo cuando es explicada por la seguridad y la comodidad.

En términos generales podemos observar que el modelo híbrido tiene un mayor poder explicativo (ver Tabla 2 del modelo estructural) y la utilización de este modelo se ve reflejado en el incremento de literatura especializada donde ha tenido un crecimiento sustancial, pero al mismo tiempo limitado a su formulación y calibración. Según Ugrinovic *et al.* (2009) los modelos híbridos necesitan un alto conocimiento estadístico que conlleva a limitaciones académicas en el desarrollo de estos. Una de las posibles causas de este fenómeno es por la naturaleza de las variables latentes, conforme lo menciona Ugrinovic *et al.* (2009). Para futuros trabajos en el área, se recomienda la inclusión de más variables latentes relacionadas con la percepción de las personas, inclusive se recomienda la inclusión de variables latentes relacionadas con la aptitud de las personas por un determinado servicio.

Se espera también que futuras investigaciones en esta área se considere otros medios de transporte y se utilice la estimación simultánea para explicar la elección de los individuos. Un aspecto que se debe recalcar en esta etapa es la utilización de otros programas, con el objetivo de conocer las diferentes ventajas y limitaciones de los resultados en la toma de decisiones de los distintos proyectos.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a la Empresa Pública de Movilidad y Obras Públicas (EPMMOP) por permitirme participar en el desarrollo del estudio de demanda durante mi permanencia en la ciudad de Quito, como Director de Sistemas Inteligentes de Transporte.

REFERENCIAS

- Ashok, K., Dillon, W. R., Yuan, S. (2002). Extending discrete choice models to incorporate attitudinal and other latent variables. *Journal of Marketing Research*, 39(1), 31-46.
- Ben-Akiva, M., D. McFadden, D., Gärling, T., Gopinath, D., Walker, J., Bolduc, D., Börsch-Supan, A., Delquíé, P., Larichev, O., Morikawa, T., Polydoropoulou, A., Rao, V. (1999). Extended framework for modeling choice behavior. *Marketing Letters*, 10(3), 187-203.
- Bierlaire, M., Fetiariison, M. (2009). *Estimation of discrete choice models: extending BIOGEME*. In: 9th Swiss Transport Research Conference, Ascona, Switzerland.
- Bollen, K. A. (1989). *Structural equations with latent variables*. Nueva York, EE.UU.: John Wiley and Sons, Inc.

- Bollen, K. A., Kirby, J. B., Curran, P. J., Paxton, P. M., Chen, F. (2007). Latent variable models under misspecification: two-stage least squares (2SLS) and maximum likelihood (ML) estimators. *Sociological Methods & Research*, 36(1), 48-86.
- Bolduc, D., Bouchner, N., Álvarez-Daziano, R. (2008). Hybrid choice modeling of new technologies for car choice in Canada. *Journal of the Transportation Research Board*, 2082, 63-71. <https://doi.org/10.3141/2082-08>
- Cal y Mayor. (2011). *Matriz calibrada base estudio de demanda*. Documento disponible en físico en la Secretaria de Movilidad del Distrito Metropolitano de Quito.
- Daziano, R., Rizzi, L. (2015). Analyzing the impact of a fatality index on a discrete, interurban mode choice model with latent safety, security and comfort. *Safety Science*, 78, 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.04.008>
- Fowkes, A. S., Nash, C. A., Whiteing, A. E. (1985). Understanding trends in inter-city rail traffic in Great Britain. *Transportation Planning and Technology*, 10(1), 65-80. <https://doi.org/10.1080/03081068508717301>
- García, A. R. G., Puga, M. R., Bermúdez, P. R. S., Miño, M. C. C., Jijón, L. A. G., Ortega, F. A. C. (2016). Caracterización de la mortalidad por accidentes de tránsito en Ecuador, 2015. *Revista CienciAmérica*, 5(1), 22-31.
- Heredia, J. K. (2015). *Modelo de satisfacción de los usuarios de transporte público tipo bus integrando variables latentes*. Disertación Doctoral, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín.
- Hoyos, C. H. (2012). *Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos*. Disertación Doctoral, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Johansson, M., Heldt, T., Johansson, P. (2005). Latent variables in a travel mode choice model: Attitudinal and behavioural indicator variables. Working Paper 2005:5, 36 p. Uppsala University. Available at <https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:665210/FULLTEXT01.pdf>
- Larrañaga, A. M. L. (2012). *Estructura urbana e viagens a pé*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Larranña, A. M., Rizzi, L. I., Arellana, J., Strambi, O., Cybis, H. B. B. (2016). The influence of built environment and travel attitudes on walking: a case study of Porto Alegre, Brazil. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(4), 332-342.
- Maldonado, R. W. (2014). Exploring the role of individual attitudes and perceptions in predicting the demand for cycling: a hybrid choice modelling approach. *Transportation*, 41(6), 1287-1304.
- McFadden, D. (1975). The measurement of urban travel demand. *Journal of Public Economics*, 3(4), 303-328. [https://doi.org/10.1016/0047-2727\(74\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0047-2727(74)90003-6)
- McFadden, D. (1986). The choice theory approach to marketing research. *Marketing Science*, 5(4), 275-97.
- McFadden, D. (2000). *Disaggregate behavioral travel demand's RUM Side: A 30-year retrospective*. International Association of Travel Behavior Research, Gold Coast, Queensland, Australia. 43 p. Available at <https://eml.berkeley.edu/wp/mcfadden0300.pdf>
- Melero, G., Coto Millan, P., Sainz González, R. (2016). *Incorporación de atributos intangibles en modelos de elección discreta*. In: XII Congreso de Ingeniería del Transporte, Valencia, España. pp. 1067-1083. Editorial Universitat Politècnica de València.
- Murphy, K., Topel, H. (1985). Estimation and inference in two-step econometric models. *Journal of Business and Economic Statistics*, 3(4), 370-379.
- Ortúzar, J. D., Willumsen, L. G. (2011). *Modelling transport* (4^a ed). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Paulssen, M., Temme, D., Vij, A., Walker, J. (2014). Values, attitudes and travel behavior: a hierarchical latent variable mixed logit model of travel mode choice. *Transportation*, 41(4), 873-888.

- Pontificia Universidad Católica del Ecuador. (2015). *Estudio de demanda del sistema de transporte por cable del DMQ*. Producto No. 2: Modelo de elección modal. Quito, Ecuador. 240 p.
- Quintana Villacis, R. P. (2017). *Propuesta de diseño de encuestas de preferencia declarada para el proyecto transporte por cables en el Distrito Metropolitano de Quito*. Tesis de maestría, PUCE, Quito, Ecuador.
- Raveau, S., De Dios Ortúzar, J., Yáñez, M. F. (2010). Análisis de los enfoques secuencial y simultáneo para la estimación de modelos híbridos de elección discreta. *Revista Ingeniería de Transporte*, 14(1).
- Rojas, A. R., Rojas, V. R. (2017). *La densidad urbana y su influencia en los viajes a pie*. Disponible en <http://www.eumed.net/rev/caribe/2017/08/densidad-urbana.html>
- Rojas, A. H. (2018). *Modelagem da satisfação produzida pelas características do ambiente construído nas viagens a pé*. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T. DM-02/2018, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 144 p.
- Stapleton, D. (1978). Analyzing political participation data with a mimic model. *Sociological Methodology*, 9, 52-74.
- Timms, P. (2008). Transport models, philosophy and language. *Transportation*, 35(3), 395-410.
- Temme, D., Paulssen, M., Dannewald, T. (2007). *Integrating latent variables in discrete choice models - How higher-order values and attitudes determine consumer choice*. SFB 649 Discussion Papers SFB649DP2007-065, Sonderforschungsbereich 649, Humboldt University, Berlin, Germany.
- Ugrinovic, J. E., De Dios Ortúzar, J., Rizzi, L. I. (2009). Inclusión de variables latentes en modelos de elección discreta para usuarios de transporte público interurbano. *Revista Ingeniería de Transporte*, 13(5), 31-36.
- Yáñez, M. F., Raveau, S., Ortúzar, J. D. D. (2010). Inclusion of latent variables in mixed logit models: modelling and forecasting. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(9), 744-753. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.07.007>