



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería en Vialidad y Transporte

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

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Master en Ingeniería en Vialidad y Transporte Modalidad: Artículo Académico

AUTOR:

Juan Pablo Lojano Gutiérrez C.I. 010253014-4

CO-AUTORES:

Alex Heriberto Rojas Alvarado CI: 0603159534

Vilma Elizabeth Rojas Alvarado CI: 0603172925

REVISORES:

Ing. Lizandro Damián Solano Quinde CI: 0102428893

Ing. Lenin Vladimir Camposano Parra CI: 0102677200



Un Modelo Híbrido de Probabilidad de Elección para la Estimación de la Demanda de Quitocable.

¹Juan Pablo Lojano Gutiérrez CI:010253014-4, ²Alex Heriberto Rojas Alvarado CI:0603159534,

³Vilma Elizabeth Rojas Alvarado CI:0603172925

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

²FCIAEE, Universidad Politécnica Estatal del Carchi

³SOLVER

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

Fecha de recepción: 13 de agosto 2017 - Fecha de aceptación: 20 de septiembre 2017

Título : Master en Vialidad y Transporte

RESUMEN

Los modelos tradicionales para el cálculo de demanda de pasajeros basados en la predicción a través de variables cuantificables como el tiempo, costos operacionales de servicios (diésel, repuestos, etc.), 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 a través de las llamadas variables latentes, es decir 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 de este artículo dejan en evidencia que el modelo híbrido posee un mayor grado de robustez para predecir la elección de los usuarios en relación a los modelos de elección discreta tradicionales, como se indica en las conclusiones los parámetros de confort y seguridad que definen de una mejor manera la elección de un modo de transporte.

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

ABSTRACT

The traditional models for the calculation of passenger demand based on prediction through quantifiable variables such as time, operational costs (Diesel, Spare Parts, etc.), 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 includes aspects of relevance such as human behavior measured by latent variables, i.e. 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. , as indicated in the conclusions, the comfort and safety parameters that define in a better way the choice of a mode of transport

Keywords: Quitocables, Hybrid modeling, transport system , Lcivil



INDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MATERIALES Y METODOS	7
2.1. LA ESTIMACIÓN SECUENCIAL.....	9
2.2. EL CASO DE ESTUDIO: QUITOCABLES	10
2.3. APLICACIÓN DEL MODELO.....	11
2.4. METODOLOGIA	11
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	13
4. CONCLUSIONES	15



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Ing. Juan Pablo Lojano Gutiérrez en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación " Un Modelo Híbrido de Probabilidad de Elección para la Estimación de la Demanda de Quitocable", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 26 de Julio 2018

Juan Pablo Lojano Gutiérrez

C.I: 010253014-4



Cláusula de Propiedad Intelectual

Ing. Juan Pablo Lojano, autor/a del trabajo de titulación “ **Un Modelo Híbrido de Probabilidad de Elección para la Estimación de la Demanda de Quitocable**”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 26 de Julio de 2018

Juan Pablo Lojano Gutiérrez

C.I.: 010253014-4



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 parámetros 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, 2012). Tradicionalmente los primeros modelos usados para el cálculo de la demanda fueron modelos llamados de agregados. Estos modelos permitían un tratamiento de datos únicamente agrupado según determinadas características como el sexo, la edad y el grado de escolaridad (Heredia, 2012; 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 y 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 *et al*, 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 *et al.*, 2016). Esa característica de flexibilidad solo es posible únicamente 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 y Willumnsen, 2011).

Estos modelos también llamados de elección discreta, aunque poseen ventajas, ignoran el efecto de las actitudes y percepciones subjetivas (Yáñez *et al*, 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 y McFadden, 2000).

Walker y Ben-Akiva (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 *et al.*, 2002; Bolduc *et al.*, 2008; Bollen *et al.*, 2007; Daziano y Rizzi, 2015; Larrañaga, 2012; Maldonado, 2014; Melero *et al.*, 2016; Rojas, 2018; Paulsen *et al.*, 2014; Temme *et al.*, 2008), permitiendo que este tipo de modelación híbrida haya sido evaluada en los diversos modos de transporte (motorizados y no motorizados). Entre los principales trabajos que usaron este método para predecir la elección en sistemas de transporte se puede destacar los realizados por Ugrinovic (2009), el cual midió la probabilidad de elección entre dos sistemas de transporte (Férreo y bus). Otro trabajo en el área fue el conducido por Dally *et al.* (2012), el cual observó la variable latente seguridad y como esta determina la preferencia de los usuarios hacia un medio de transporte. Finalmente en América Latina trabajos como el de Soto *et al.* (2014), identificaron el potencial de esta modelación para determinar la demanda de vehículos eléctricos.

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, utilizando un enfoque secuencial.

2. MATERIALES Y METODOS

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 la alternativa de transporte A_j , viene dada por:

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



donde V_{jq} es la utilidad representativa de la j -ésima elección de medio de transporte 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:

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

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 permiten que el proceso de elección sea más entendido en función del verdadero comportamiento de las personas (Walker, 2001).

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 ecuación (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 del vector latente con media cero y matriz de covarianza Ψ , y Γ denota los parámetros a ser estimados (5). Para que el modelo MIMIC sea estimable se debe normalizar la escala de las variables latentes, para esto se recomienda fijar en uno 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; Walker, 2001):

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



Donde Γ corresponde al conjunto de parámetros a estimar (α, β, ψ) . Esta ecuación involucra 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 *et al.*, 2009). De esta manera, en función de la información disponible, elementos tecnológicos (softwares y licencias) y por ser la más utilizada en la práctica, 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 considera 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 siguiente etapa relaciona los factores latentes individuales (Seguridad y Comodidad) obtenidos del ajuste anterior con la estimación ordenada de los modelos de elección discreta. La variable dependiente (elección) 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 por 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, debido a que en el levantamiento de informaciones los datos de campo deben ser recogidos con total cuidado, intentando que se produzca el menor sesgo posible en las respuestas de las personas entrevistadas (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 y Topel (1985). Esta corrección se vuelve exponencialmente complicada en la medida que el número de variables incrementa: bajo este contexto el presente estudio analiza dos variables latentes divididas cada una en dos tipos de percepción totalizando al final 4 variables, las cuales se tornan en una corrección extremadamente complicada que no puede ser resuelta por paquetes de software tradicionales. 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 (2015), el mismo estuvo a cargo de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador,

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 los mismos.

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 a 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 (trolebus, bicicleta, caminar, taxi, camioneta, etc). Los datos para esta modelación híbrida corresponden a un tamaño muestral de 541 casos analizados (Quintana, 2017). Para verificar el cálculo del tamaño muestral y el universo poblacional ver Quintana (2017).



2.3. APLICACIÓN DEL MODELO

La Sección 2.4 describe la metodología usada en este trabajo, la misma que es descrita en la Figura 1. 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 socio-económicas y la escolaridad, es decir el nivel de formación, de los encuestados.

2.4. METODOLOGIA

La Figura 1 describe la metodología utilizada en esta investigación.

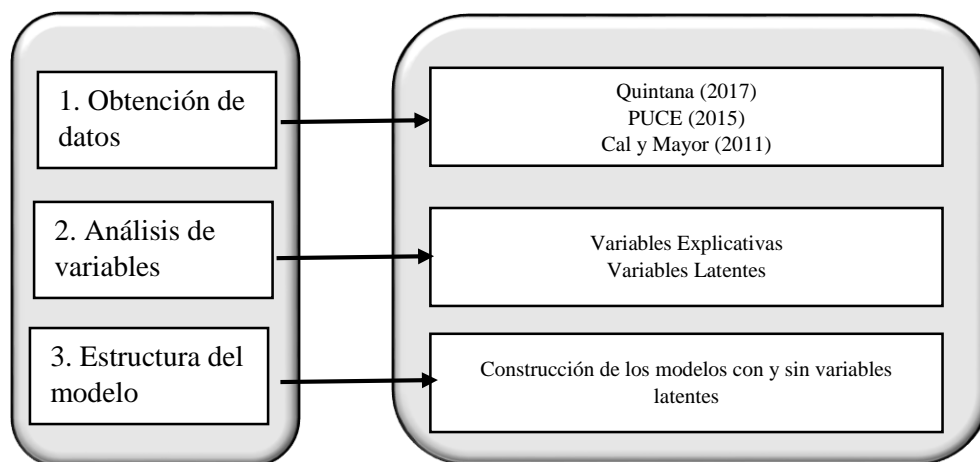


Figura 1. Metodología

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, es decir 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 se construyó 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 y edad. Las dos variables latentes del tipo endógenas (variables que poseen error, debido a que son variables latentes y depende de la respuesta de las personas) 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, los mismos están sobrentendido.

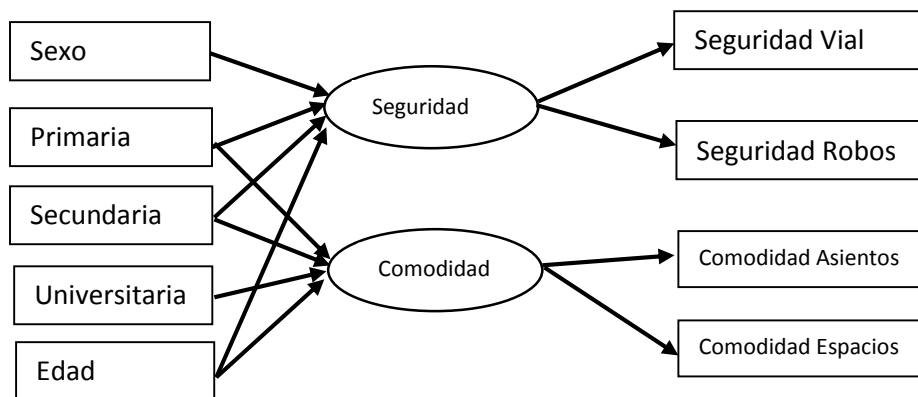


Figura 2. Estructura del modelo

A continuación, se determina la Utilidad del modo, el cual 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 a la mejor especificación, la cual se muestra en la siguiente a continuación:

$$V_{iq} = Q \cdot costo \cdot \frac{Costo}{w \cdot q(Q \cdot genroM \cdot generoF)} + Seguridad \cdot B \cdot seg + Confort \cdot B \cdot conf \quad (6)$$

Donde: V_{iq} : utilidad del modo (cable) viene en probabilidad

Q : vector de la regresión lineal obtenido de la información disponible



Costo: valor de la tarifa, estudio
w: otro costo de la tarifa (se relaciona con el anterior)
q: vector de regresión lineal de la tarifa w
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 DISCUSIONES

En este apartado se analizaron los resultados obtenidos en el modelo, incluyendo variables latentes y sin incluir variables latentes. Las distintas estimaciones fueron obtenidas a través del uso del software libre Biogeme (Bielare y Fetiaron, 2009), el cual 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.

Tabla 1. Descripción de las variables explicativas

Variable	Media	Desviación Estándar
Género 0; 1 (Hombre: 1)	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

La estadística descriptiva de las variables explicativas de la tabla 1 tienen el objetivo de verificar su tendencia central y su nivel de variación en relación a 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. La Tabla 2, muestra los principales resultados.

Tabla 2. Modelo Final Estructural

Variable	Modelo sin variables latentes	Modelo con variables latentes
Género	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
Comodidad	-	0,041
Numero de observaciones	541	541
Log-verosimilitud	-98.730,12	-44.234,34

Antes de realizar el análisis de resultados se presenta la Tabla 3, en la cual se especifican los valores medios para modelos estructurales con y sin variables latentes:

TABLA 3. VALORES MEDIOS PARA MODELOS ESTRUCTURALES

Variable	Modelo sin variables latentes	Modelo con variables latentes
Convencionales (Sexo, edad, salario, etc.)	Entre 0 y 1. Se considera como óptimos los valores más cercanos a 1. Valores negativos son considerados como des-utilidad.	Entre 0 y 1. Se considera como óptimos los valores más cercanos a 1. Valores negativos son considerados como des-utilidad.
Latentes	No aplica	Entre 0 y 1. Se considera como óptimos los valores más cercanos a 1.

Fuente: Adaptado de Bolduc *et al* (2008), Bollen (1989), Daziano *et al* (2015), Larrañaga (2012), Rojas (2018) y Ugrinovic (2009).

Analizando los resultados obtenidos en la 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 hace 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 a las variables analizadas, los modelos con o sin variables latentes reflejan un valor próximo en relación al género, siendo este un valor bastante confiable. Trabajos como los realizados por Larrañaga *et al* (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 resultan menos representativas lo cual también se podría haber esperado puesto a 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. El valor de log verosimilitud indica que el tamaño de la muestra debería incrementar por el motivo para una mejor evidencia teórica.



La edad de los encuestados también refleja una 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. Dicho de otra forma a mayor edad existe mayor índice de percepción que a menores edades, siendo igual a los resultados reportados en diferentes literaturas (Rojas y 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 *et al.*, (2005) y Temme *et al.*, (2007). En 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. La percepción de seguridad está ligada a factores como accidentes de tránsito y a la falta de seguridad vial y física de los otros medios de transporte, estos factores deben ser considerados para la elección de un modo de transporte. El modelo refleja la percepción de la utilidad en 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 el 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 a 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 han incrementado en los últimos años, puesto a 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 posibles usuarios del mismo. Aspectos relativos a la seguridad y la comodidad son decisivos en 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 y la utilización de este modelo se ve reflejado en el incremento de literatura especializada donde han tenido un crecimiento sustancial, pero al mismo tiempo limitado a su formulación y calibración. Según Ugrinovic et al (2009) los modelos híbridos necesitan de alto conocimiento estadístico que conllevan limitaciones académicas en el desarrollo de los mismos. Una de las posibles causas de este fenómeno es 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 consideren otros medios de transporte y utilicen 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. Y en forma especial a los coautores del presente artículo por la información proporcionada para la realización del mismo

BIBLIOGRAFÍA

ASHOK, K., DILLON, W. Y YUAN, S. (2002) Extending discrete choice models to incorporate attitudinal and other latent variables. **Journal of Marketing Research** 39, 31-46.



BEN-AKIVA, M., D. MCFADDEN, T. GÄRLING, D. GOPINATH, J. WALKER, D. BOLDUC, A. BÖRSCH-SUPAN, P. DELQUIÉ, O. LARICHEV, T. MORIKAWA, A. POLYDOROPOULOU, AND V. RAO (1999) "Extended Framework for Modeling Choice Behavior", *Marketing Letters* 10(3), 187-203.

BIERLAIRE, M., & FETIARISON, M. (2009, September). Estimation of discrete choice models: extending BIOGEME. In *Swiss Transport Research Conference (STRC)*.

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, 48-86.

BOLDUC, D., BOUCHNER, N. y ÁLVAREZ-DAZIANO, R. (2008): Hybrid choice modeling of new technologies for car choice in Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2082, 63-71

CAL Y MAYOR (2011) Matriz calibrada base estudio de demanda.

DALY, A., HESS, S., PATRUNI, B., POTOGLU, D., & ROHR, C. (2012). Using ordered attitudinal indicators in a latent variable choice model: a study of the impact of security on rail travel behaviour. *Transportation*, 39(2), 267-297.

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.

FOWKES, A. S., C. A. NASH Y A. E. WHITEING (1985). "Understanding trends in inter-city rail traffic in Great Britain". *Transportation Planning and Technology*, 10: 65-80.

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 (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín).
- HOYOS, C. H. (2016) Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos/Modeling of the airport terminal choice of two nearby airports (Doctoral dissertation, 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, Uppsala University.
- LARRAÑAGA, A. M. L. (2012) Estrutura 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
- LARRAÑAGA, 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.
- MÁRQUEZ, L. (2015). Análisis de la percepción de seguridad en puentes peatonales: una aproximación mediante modelación híbrida. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(27).
- 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, 1287-1304
- MCFADDEN, D. (1975). "The measurement of urban travel demand". *Journal of Public Economics*, 3: 303-328.
- 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", documento presentado en la IATBR (International Association of Travel Behavior Research). Gold Coast, Queensland, Australia.



MELERO, G., COTO MILLAN, P., & SAINZ GONZÁLEZ, R. (2016, June). Incorporación de atributos intangibles en modelos de elección discreta. In XII Congreso de ingeniería del transporte. 7, 8 y 9 de Junio, Valencia (España) (pp. 1067-1083). Editorial Universitat Politècnica de València.

METRO MADRID (2011). Modelo de la red. Estudio Metro de Quito

MURPHY K. & TOPEL H. (1985). Estimation and Inference in Two-Step Econometric Models. Journal of Business and Economic Statistics, 1985, 3(4), 370-379.

ORRO, A (2005). “Modelos de elección discreta en transportes con coeficientes aleatorios”, Tesis doctoral en Ingeniería Civil, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de A Coruña, A Coruña.

ORTÚZAR, J.D. Y WILLUMSEN, L.G. (2011). Modelling Transport (4ª Edición Corregida). Chichester: John Wiley and Sons

PAULSEN, 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, 873-888.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR (2015). Estudio de Demanda del Sistema de Transporte por Cable.

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 (Master's thesis, PUCE).

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. Ingeniería de Transporte, 14(1).

ROJAS, A. R., Y ROJAS, V. R. (2017) LA DENSIDAD URBANA Y SU INFLUENCIA EN LOS VIAJES A PIE.



- 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 DAVID (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 DIRK, PAULSSEN MARCEL & DANNEWALD TILL (2008). 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. *Ingeniería de Transporte*, 13(5).
- 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.