

Lecturas de Economía

ISSN: 0120-2596

lecturas@udea.edu.co

Universidad de Antioquia

Colombia

Márquez, Luis

La percepción de seguridad en la demanda de transporte de la integración bicicleta-metro  
en Bogotá, Colombia

Lecturas de Economía, núm. 84, enero-junio, 2016, pp. 143-177

Universidad de Antioquia

Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=155243576005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

**La percepción de seguridad en la demanda  
de transporte de la integración bicicleta-metro  
en Bogotá, Colombia**

---

**Luis Márquez**

Luis Márquez

### La percepción de seguridad en la demanda de transporte de la integración bicicleta-metro en Bogotá, Colombia

**Resumen:** Se plantea como hipótesis que la percepción de seguridad tiene un efecto significativo en la predicción de la demanda por la integración bicicleta-metro. Para demostrar dicha hipótesis, se calibraron dos modelos: un modelo logit mixto y un modelo integrado de elección y variable latente, cuya estimación se hizo en forma simultánea por máxima verosimilitud simulada. La estimación empleó datos de una muestra tomada en la localidad de Kennedy, que no solo es la más poblada de Bogotá sino que será el punto de partida de la primera línea del metro. La evidencia empírica respaldó la hipótesis planteada, encontrándose que el modelo mixto sobreestima la demanda, especialmente en los escenarios que no consideraron la provisión de carriles exclusivos para bicicleta. Se encontraron, además, diferencias significativas en la percepción de seguridad de la bicicleta para usuarios de motocicletas, taxis y servicio público, y en general para los individuos según el nivel de ingreso.

**Palabras clave:** modelos integrados de elección y variables latentes, percepción de seguridad, experimentos de elección discreta, integración bicicleta-metro

**Clasificación JEL:** C59, C91, R41, R42

### Safety perception in transport demand modeling for the bike-metro integration in Bogota, Colombia

**Abstract:** It is hypothesized that safety perception produces a significant effect on predicting demand for the bike-metro integration. Two models were calibrated in order to test this hypothesis: a mixed logit model and an integrated choice latent variable model, which were estimated simultaneously using simulated maximum likelihood. Data used in the estimation were taken in the locality of Kennedy, which is not only the most populous of Bogotá but also will be the starting point of the first metro line. The empirical evidence supported the hypothesis; in particular, it was found that the mixed model overestimates demand, especially in the scenarios for which provision of exclusive bicycle lanes was not considered. Also, significant differences in safety perception were found for users of motorcycle, taxis and public service, and generally for individuals according to income levels.

**Keywords:** integrated choice and latent variable models, safety perception, discrete choice experiments, bike-metro integration

**JEL classification:** C59, C91, R41, R42

### La perception de sécurité en tant que déterminant de la demande de transport public : le cas du système de transport intégré entre le métro et le vélo pour la ville de Bogota, Colombie

**Résumé:** La perception de sécurité a un effet significatif pour prédire la demande de transport en commun intégré entre le métro et le vélo. À fin de confirmer cette hypothèse, nous estimons deux modèles : un modèle logit mixte et un modèle intégré de choix à variable latente, dont l'estimation a été faite simultanément par la méthode de maximum de vraisemblance simulé. L'estimation utilise les données issues d'une enquête sur la population de l'arrondissement de Kennedy. Il s'agit de l'arrondissement le plus peuplé de la ville de Bogota et le point de départ de la première ligne de métro qui sera construit dans la ville. Les résultats statistiques confirment l'hypothèse de départ. Tout en supposant qu'il n'existe pas des pistes cyclables, nous montrons que le modèle logit mixte surestime la demande de transport. Nous montrons également qu'il existe des différences significatives dans perception de sécurité en ce qui concerne l'utilisation du vélo de la part de différents types d'usagers (ceux qui utilisent la moto-cyclette, le taxi et les transports en commun), selon leur niveau de revenu.

**Mots-clés:** modèle intégré de choix à variable latente, perception de sécurité, expériences de choix discrets, système de transport intégré métro-vélo

**Classification JEL:** C59, C91, R41, R42.

## **La percepción de seguridad en la demanda de transporte de la integración bicicleta-metro en Bogotá, Colombia**

**Luis Márquez\***

**–Introducción. –I. Revisión de la literatura. –II. Modelo econométrico.  
–III. Discusión de resultados. –Conclusiones. –Bibliografía**

doi: 10.17533/udea.le.n84a05

*Primera versión recibida el 17 de abril de 2015; versión final aceptada el 16 de septiembre de 2015*

### **Introducción**

Bogotá es reconocida por ser la ciudad colombiana con la red más extensa de carriles exclusivos para bicicletas o ciclorrutas (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2012). Si bien el prestigio de Bogotá como una ciudad amigable para los usuarios de la bicicleta viene desde finales de la década de los noventa, la promoción y construcción de ciclorrutas ha sufrido un importante rezago desde entonces. A pesar de esta situación, el uso de la bicicleta en la ciudad ha aumentado constantemente, desde alrededor del 0,5% de los viajes diarios en 1996 hasta el 6% en 2014 (Verma, López y Pardo, 2015).

La idea de un sistema de metro para Bogotá ha estado vigente desde hace muchos años, pero hasta ahora no se ha concretado debido a su enorme costo (Skinner, 2004). No obstante, dado el ambiente favorable que existe en la actualidad, es posible que la construcción de la primera línea del metro comience en 2016 y, si se aprueba el presupuesto necesario, se podría esperar

---

\* *Luis Gabriel Márquez Díaz*: Profesor asociado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Dirección postal: Avenida Central del Norte 39-115, Tunja, Boyacá, Colombia. Dirección electrónica: [luis.marquez@uptc.edu.co](mailto:luis.marquez@uptc.edu.co).

que entre en operación en el año 2021 (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2013). Si este proyecto se hiciera realidad, la ciudad podría diversificar un poco más su sistema de transporte mediante la reestructuración de rutas de transporte público, la construcción de nuevas ciclorrutas y una mayor integración entre bicicletas y transporte público.

Es evidente que los futuros usuarios del metro tendrán que desplazarse desde su origen hasta la parada de acceso al sistema y desde la parada de egreso del sistema hasta su destino. Estas etapas de acceso y salida son inevitables en los viajes de transporte público, pero con la suficiente planeación pueden resolverse a pie, con vehículos alimentadores o con bicicletas, entre otras opciones existentes. Particularmente, las bicicletas son muy útiles para las llamadas primera y última milla de los viajes, ya que proporcionan una alternativa de integración (Pardo, Caviades y Calderón, 2013) entre dos modos que se pueden complementar mutuamente (Rietveld y Daniel, 2004).

De esta manera se podría fortalecer el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) de la ciudad, proporcionando una alternativa competitiva para un servicio integrado y verde. Así, a mediano plazo, el modelo de transporte público de Bogotá permitiría la integración del metro, el sistema BRT del distrito (más conocido como Transmilenio), la bicicleta y, más adelante, un futuro tren de cercanías. Dicha integración permitiría conformar un sistema de recaudo centralizado, con servicios jerárquicos, eliminando el exceso de oferta y promoviendo la chatarrización de los buses convencionales (Targa, et al., 2010).

La integración efectiva de la bicicleta y el metro requiere una red de bicicletas bien planificada, complementaria del sistema de transporte público y cuya oferta responda aceptablemente a las condiciones de demanda. La experiencia mundial indica que en la última década se ha avanzado mucho en la coordinación de la bicicleta con el transporte público colectivo, mostrando que, en algunas ciudades, la demanda de dicha integración ha resultado muy superior a la oferta de servicios (Pucher y Buehler, 2009). De otra parte, y evidenciando la dificultad inherente a las estimaciones de demanda para este tipo de servicios, la integración no siempre significa que más personas accedan al sistema de transporte público (Sagaris y Olivo, 2010). En consecuencia, es necesario investigar acerca de los factores que determinan la demanda por estrategias de

integración de este tipo, donde sean consideradas, además de las variables medibles tradicionales, las percepciones individuales que, como se ha evidenciado empíricamente, no solo mejoran el poder predictivo de los modelos sino que permiten enriquecer la modelación del proceso de elección (Walker, 2001).

Siguiendo la discusión de Cheng y Liu (2012) se ve cómo han sido publicadas varias investigaciones relacionadas con el uso combinado de la bicicleta y el transporte ferroviario, orientadas básicamente hacia la planificación del transporte, evaluación de políticas, análisis económicos y cuantificación de impactos de este tipo de políticas (ver, por ejemplo, Martens, 2004; Givoni y Rietveld, 2007). Sin embargo, relativamente pocos estudios han investigado los problemas de integración de modos de transporte desde la perspectiva de la percepción de los usuarios. Al respecto, la literatura, en general, reconoce cuatro factores actitudinales y de percepción que tienen un impacto potencial sobre la demanda por la bicicleta: actitud pro bicicleta, percepción del contexto, percepción de la seguridad y conveniencia (Vandenbulcke et al., 2011).

Dado que la percepción de seguridad es posiblemente uno de los factores no observables con mayor influencia en la decisión de usar la bicicleta (Maldonado-Hinarejos, et al., 2014), el presente trabajo tiene por objetivo evaluar cómo la percepción de seguridad de la bicicleta incide en la demanda de transporte de la integración entre bicicleta y metro en la ciudad de Bogotá. El trabajo está contenido y delimitado por el marco teórico para la modelación del comportamiento en contextos de elección, propuesto por Ben-Akiva et al. (1999) y ampliado por Walker (2001), cuyo núcleo es un proceso de toma de decisiones que parte de un estado inicial del conocimiento, formado por experiencias e información, y produce un estado final o respuesta, que sería la elección. Dicho proceso está influenciado además por la memoria, percepciones, creencias, motivaciones, afecto, gustos, metas, actitudes y preferencias.

Se plantea como hipótesis principal que la percepción de seguridad es significativa en el proceso de elección, es decir que tiene un efecto significativo en la predicción de la demanda de la integración entre bicicleta y metro. Para demostrar la hipótesis se plantea como objetivo principal estimar un modelo híbrido de elección y variables latentes (Ben-Akiva et al., 1999; Walker, 2001) usando datos provenientes de una encuesta de preferencias

declaradas aplicada en la localidad de Kennedy en Bogotá<sup>1</sup>. Este modelo híbrido es comparado con un modelo de coeficientes aleatorios para verificar el mejoramiento de la bondad de ajuste.

Después de la presente introducción, el artículo ha sido organizado de la siguiente manera: la sección I discute las ideas generales que sustentan la inclusión de percepciones y variables latentes en los modelos de elección, mostrando las variables latentes recientemente abordadas por la literatura, así como la importancia de considerar la percepción de seguridad en los modelos de elección; enseguida es presentada la sección II, en la que se explica la manera como se caracterizaron los constructos latentes, así como las ecuaciones que integran el modelo y los instrumentos de medición utilizados. La sección III razona sobre los coeficientes estimados y explica sus principales implicaciones. Por último son presentadas las conclusiones y las líneas futuras de investigación.

## **I. Revisión de la literatura**

La introducción de percepciones y factores latentes en los modelos de elección discreta ha sido tratada bajo dos enfoques principales: modelos de variables latentes y modelos de clases latentes. El enfoque de variables latentes se ocupa del modelado explícito de las características psicológicas no observadas, tales como las actitudes y las percepciones (Walker, 2001). A su vez, el enfoque de clases latentes asume que la población puede ser probabilísticamente segmentada en grupos que tienen diferentes comportamientos de elección. Tomando en consideración estos dos enfoques, y teniendo en mente la idea de modelar la percepción de seguridad, el presente trabajo se sitúa en el primero de ellos, es decir el enfoque de variables latentes.

En este enfoque, es conveniente diferenciar entre actitudes y percepciones. En general, las actitudes de los individuos pueden ser el reflejo de necesidades, valores, gustos y capacidades (Daly et al., 2012), que se forman con el tiempo y que se ven afectados por la experiencia y los factores externos (Walker y Ben-Akiva, 2002). Las percepciones, en cambio, miden la capacidad

---

1 La encuesta fue aplicada en marzo de 2015 a una muestra aleatoria de 157 individuos.

cognitiva del individuo para evaluar los atributos de las diferentes alternativas. Así, en el contexto de las elecciones de transporte las percepciones son relevantes, pues determinan la forma cómo un individuo distingue los niveles de los atributos en consideración (Bolduc, Boucher y Alvarez-Daziano, 2008).

El importante papel que desempeñan las actitudes y las percepciones en la explicación del comportamiento en las elecciones de transporte ha sido reconocido por años (ver por ejemplo, Koppelman y Pas, 1980). Sin embargo, la incorporación de factores latentes en los modelos de elección discreta es relativamente reciente. En los últimos quince años, el trabajo investigativo ha logrado ampliar el enfoque tradicional para hacer explícito el modelado de actitudes y percepciones, combinando variables medibles con factores no observables en los modelos de elección discreta (Ben-Akiva et al., 2002).

Además de la percepción de seguridad, entre las variables latentes comunes a casi todos los modos de transporte, que han sido reportadas recientemente en la literatura, se pueden encontrar, entre otras: accesibilidad, comodidad, confiabilidad, conveniencia, conectividad, flexibilidad y propiedad. La tabla 1 presenta una muestra de dichas variables, sus referencias y los contextos en los que fueron estudiadas.

**Tabla 1.** *Variables latentes en contextos de elección de modo de transporte*

Contexto de estudio	Referencia	Variable
Elección entre transporte público y bicicleta en Nanjing.	(Yang et al., 2009)	Comodidad, conveniencia, flexibilidad
Elección de modo sistema Transantiago en Chile	(Yáñez et al., 2010)	Accesibilidad, comodidad, confiabilidad
Elección de modo en Alemania	(Paulssen et al., 2014)	Comodidad, conveniencia, flexibilidad, propiedad
Análisis de políticas de transporte en Madrid	(Comendador et al., 2014)	Comodidad
Encuesta de viajes en Madrid	(Fernández-Heredia et al., 2014)	Conveniencia, actitud pro-bicicleta, restricciones externas
Implementación de proyectos ferroviarios en Holanda	(Puello y Geurs, 2015)	Actitudes respecto al ambiente de las estaciones, conectividad, calidad de ciclorrutas

*Fuente:* elaboración propia (2015).



La percepción de seguridad (o percepción de riesgo) se puede definir como la expectativa de un resultado no deseado tal como un accidente de tráfico (Hamed y Al Rousan, 1998). Es claro que la valoración de la percepción del riesgo de tráfico es subjetiva porque puede variar de una persona a otra de acuerdo con sus antecedentes (experiencia e información) y su forma de enfrentar los riesgos (Adams, 1988).

Las percepciones de seguridad son complejas pues difieren de una ciudad a otra y cambian con el entorno, con las características de los individuos y con el modo de viaje seleccionado, entre otros factores. Una muestra de ello es el trabajo de Chataway et al. (2014), que muestra cómo, en comparación con los ciclistas en Copenhague, los ciclistas en Brisbane perciben ciertas infraestructuras como menos seguras y sienten más temor de tráfico. En la misma línea, la preocupación de los padres sobre la seguridad en el tráfico es especialmente importante para los niños que viajan como peatones o ciclistas (Johansson, 2006; Ewing, Schroeer y Greene, 2004). Asimismo se ha encontrado que situaciones específicas como conflictos de tránsito graves son percibidos por los individuos como una amenaza (Svensson y Hyden, 2006) lo que podría afectar la percepción de seguridad y, en consecuencia, las elecciones de transporte. Específicamente, la literatura evidencia que las amenazas del tráfico pueden preocupar a los ciclistas por el riesgo de ser golpeados por automóviles (Sanders, 2015).

En general, Mannering y Bhat (2014), en la misma línea de Bolduc et al. (2005) y McFadden (2013), consideran que los análisis de seguridad pueden ser mejorados al incluir variables latentes. Esto es corroborado en algunos trabajos que inicialmente no consideraron la percepción de seguridad pero que finalmente recomendaron la necesidad de incluir dicha variable para mejorar el comportamiento predictivo de los modelos y los análisis que de ellos se derivan. Por ejemplo, Tam, Lam y Lo (2010) no consideraron la percepción de seguridad en la especificación de su modelo, pero notaron que la tolerancia del margen de seguridad debería incluirse en el modelo integrado para proveer a las autoridades un mejor entendimiento de las necesidades de los pasajeros.

Son varios los trabajos que consideran variables latentes relacionadas con la seguridad, aunque no en todos los casos dichas variables han resultado estadísticamente significativas. Por ejemplo, Vredin Johansson, Heldt y Johansson (2006), en el contexto de elección de modo entre Estocolmo y Uppsala, encontraron que las preferencias de seguridad fueron insignificantes debido, posiblemente, a que las diferencias de seguridad entre los modos considerados eran muy pequeñas para ser discernibles por los individuos. Ellos manifestaron adicionalmente que el haber mezclado indicadores de seguridad ciudadana con seguridad de tráfico pudo haber contribuido a la no significancia de la variable.

Igualmente, Yang et al. (2009), en un contexto de elección entre transporte público y bicicleta, justificaron el hecho de que la percepción de seguridad no hubiese resultado significativa en razón a que el nivel de riesgo de la línea base era tan pequeño que los cambios proyectados no eran percibidos por los encuestados. Sin embargo, tal como lo explicaron, eso no significa que las consideraciones de seguridad no sean importantes en la elección de modo. En la misma línea, Yáñez et al. (2010) al ver que la seguridad no era estadísticamente significativa decidieron especificar la variable latente mezclada comodidad/seguridad, que se comportó adecuadamente en el modelo. Al respecto, es necesario aclarar que este tipo de variables latentes mezcladas pueden ser difíciles de interpretar; además, casi siempre han sido producto de encuestas no diseñadas específicamente para estudiar el efecto de variables latentes en las elecciones.

De otra parte, se encuentran en la literatura trabajos que han reportado significancia estadística de las percepciones de seguridad, haciendo énfasis en que la seguridad debe ser vista no solo como una actitud sino como un atributo cualitativo (Daziano, 2012). En general, han sido encontradas diferencias significativas según el género (Tsirimpa, Polydoropoulou y Antoniou, 2010), la edad (Tsirimpa et al., 2010), el ingreso (Yang et al., 2009), la propiedad vehicular (Habib et al., 2014), el nivel educativo (Yang et al., 2009), la antigüedad en el caso de servicios de transporte a empleados (Márquez, Cantillo y Arellana, 2014) y la experiencias, como el hecho de haber sido multado o haber sufrido algún accidente de tránsito (Márquez et al., 2015).

En el contexto de viajes en bicicleta, Habib et al. (2014) reconocieron que las variables latentes pueden explicarse por diferentes atributos socioeconómicos, variables de uso del suelo, variables relacionadas con la infraestructura e incluso otras variables latentes. Ellos encontraron que es importante tomar en cuenta las percepciones de las personas en el desarrollo de programas de promoción de la bicicleta y en la formulación de estrategias para maximizar la efectividad de dichos programas. Específicamente concluyeron que una mayor provisión de infraestructura de carriles para bicicleta en los barrios puede aumentar la percepción de seguridad, lo que resultaría en una mayor probabilidad de que sus residentes opten por esta alternativa de transporte.

En la misma línea, Maldonado-Hinarejos et al. (2014) reconocen que los modelos híbridos de elección tienen un importante potencial para predecir en forma consistente el impacto que produce en el comportamiento de los usuarios la adopción de ciertas políticas “blandas” destinadas precisamente a cambiar las actitudes de las personas. Así mismo, para comparar el impacto de políticas “duras”, como la provisión de infraestructuras de parqueo, con respecto a políticas “blandas”, tales como programas de promoción del uso de la bicicleta.

Claramente, la literatura indica la importancia general de las percepciones en los modelos de elección de transporte, siendo relevante la importancia específica de la percepción de seguridad en contextos de elección que consideran el uso de la bicicleta.

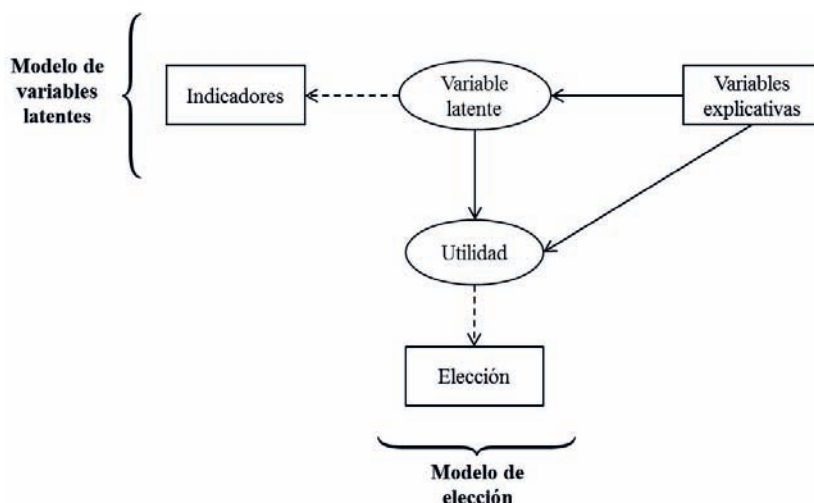
## **II. Modelo econométrico**

El modelo integrado de elección y variable latente (ICLV, por su sigla en inglés) propuesto por Ben-Akiva et al. (1999), y cuyo marco de aplicación fue ampliado por Walker (2001), es representado como se ve en el Gráfico 1. El modelo incorpora indicadores que miden explícitamente las variables latentes de interés. Normalmente estos indicadores se basan en las respuestas dadas por los individuos a un conjunto de afirmaciones o preguntas relacionadas con actitudes, percepciones, motivación y memoria, que posibilitan la estimación del modelo.

Las convenciones adoptadas en el gráfico representan los constructos no observables mediante elipses, mientras que las variables observables son representadas por rectángulos. Las flechas punteadas representan las mediciones necesarias para cuantificar y caracterizar los constructos latentes, entre ellos la utilidad de cada alternativa<sup>2</sup>. Las flechas continuas vinculan variables causales observables con las variables latentes y también pueden vincular variables latentes con otra variable latente en consideración. Como lo sugiere el gráfico 1, el modelo integrado está compuesto por dos partes: un modelo de elección discreta<sup>3</sup> y un modelo de variables latentes. Cada una de estas partes consiste en una o más ecuaciones estructurales y una o más ecuaciones de medición.

- 
- 2 La teoría del consumidor establece que los consumidores son responsables de tomar decisiones racionales. Es decir, cuando un individuo se enfrenta a un conjunto de posibles canastas de consumo de bienes, asigna preferencias a cada una de ellas y elige la que le produce mayor satisfacción. Entonces, dadas las propiedades de completitud (es posible comparar cualquier par de canastas), transitividad (las preferencias del consumidor no son cíclicas) y continuidad (el consumidor siempre prefiere consumir más a consumir menos) se puede demostrar que existe una función continua, denominada comúnmente la función de utilidad, que asocia un número real a cada posible canasta, de tal manera que resume el orden de las preferencias del consumidor (Walker, 2001). El comportamiento del consumidor se puede expresar entonces como un problema de optimización, sujeto a una restricción de presupuesto, en el que el consumidor elige la canasta con la que maximiza su utilidad. Esta función de optimización es resuelta para obtener la función de demanda; además, la función de demanda se puede sustituir en la ecuación de utilidad para derivar la función de utilidad indirecta, que es la utilidad máxima que se puede alcanzar dada la restricción presupuestal (Walker, 2001). Así, la función de utilidad indirecta, que en el presente trabajo es denominada simplemente *utilidad*, es la que se utiliza en los modelos de elección discreta.
  - 3 El investigador no conoce la totalidad de las variables que están influyendo en la elección de un individuo, ni la forma como dichas variables intervienen. Únicamente es capaz de determinar una parte de dicha utilidad, conocida como la utilidad sistemática y especificada habitualmente como una función lineal aditiva de atributos observables, tales como el tiempo y el costo, y no observables, como por ejemplo la percepción de seguridad. La parte desconocida de la utilidad es tratada como un error aleatorio de media cero. Si bien la elección del individuo bajo las hipótesis mencionadas es plenamente determinista, el investigador no conoce las “verdaderas” utilidades y en consecuencia solo podrá conocer la probabilidad de que una alternativa sea la de mayor utilidad. Por lo anterior, el modelo de elección discreta es un modelo probabilístico.

**Gráfico 1.** *Modelo integrado de elección y variables latentes*



*Fuente:* elaboración propia con base en Walker (2001).

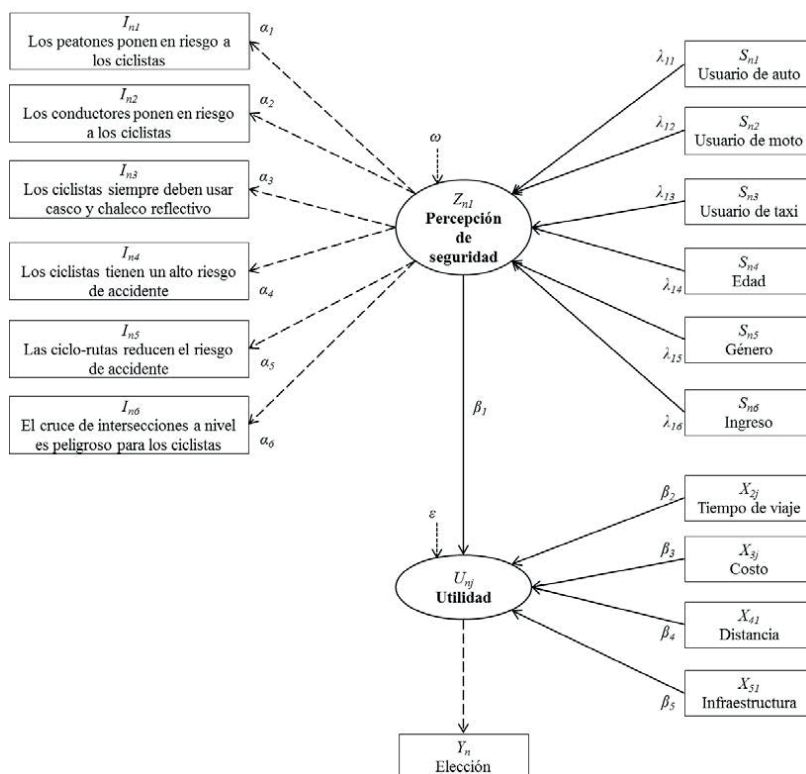
Siguiendo las mismas convenciones, el Gráfico 2 presenta el diagrama completo del modelo híbrido que fue especificado. El modelo de elección explica si el individuo elige la alternativa de integración bicicleta-metro o si por el contrario prefiere el modo habitualmente utilizado para la realización de sus viajes urbanos<sup>4</sup>. Por su parte, el modelo de variable latente ha sido especificado para estudiar la percepción de seguridad de la bicicleta. Cada uno de los constructos no observables ha sido especificado con su correspondiente término de error.

Las hipótesis subyacentes al modelo indican que la percepción de seguridad puede ser distinta entre los individuos de acuerdo con su condición, es decir, dependiendo de la clase de usuario, de la edad, el género y el nivel de ingreso. También se ha especificado que la utilidad de cada alternativa depende de un conjunto de atributos modales, tales como el tiempo de viaje, el costo, la distancia en bicicleta y la infraestructura disponible. Además, para el

4 Los modelos de elección son la herramienta estándar para modelar las elecciones individuales y tienen sus fundamentos en la teoría clásica del consumidor, que es la fuente de muchos de sus más importantes supuestos.

caso de la alternativa de la integración bicicleta-metro se ha considerado que la utilidad depende de la percepción de seguridad de la bicicleta. Como se ve en el gráfico 2, el indicador de la utilidad de las alternativas es la elección que realiza cada individuo, mientras que en el caso de la percepción de seguridad se tiene un conjunto de seis indicadores que miden la percepción de seguridad de los individuos<sup>5</sup>.

**Gráfico 2.** Diagrama completo del modelo híbrido



Fuente: elaboración propia (2015).

5 Aunque los constructos o variables latentes no son medibles en forma directa, su efecto puede ser observado en los indicadores. Así, las elecciones individuales son manifestaciones de la utilidad subyacente, mientras que las calificaciones dadas a los indicadores son manifestaciones de la percepción de seguridad individual.

La notación utilizada por el modelo híbrido de elección y variables latentes es la siguiente:

- $Z_{n1}$ : Variable latente percepción de seguridad del individuo  $n$ . Esta variable latente fue especificada en la función de utilidad de la alternativa de integración bicicleta-metro.
- $U_{nj}$ : Utilidad del individuo  $n$  y alternativa  $j$ .
- $Y_n$ : Indicador de elección del individuo  $n$ .
- $X_{2j}$ : Tiempo de viaje de la alternativa  $j$ .
- $X_{3j}$ : Costo de la alternativa  $j$ .
- $X_{41}$ : Distancia en bicicleta de la integración bicicleta-metro.
- $X_{51}$ : Infraestructura disponible de la integración bicicleta-metro.
- $S_{n1}$ : Condición de usuario de auto del individuo  $n$ . Toma el valor de 1 si el individuo es usuario habitual del auto y 0 en otro caso.
- $S_{n2}$ : Condición de usuario de motocicleta del individuo  $n$ . Toma el valor de 1 si el individuo es usuario habitual de la motocicleta y 0 en otro caso.
- $S_{n3}$ : Condición de usuario de taxi del individuo  $n$ . Toma el valor de 1 si el individuo es usuario del taxi y 0 en otro caso.
- $S_{n4}$ : Edad del individuo  $n$ . Toma el valor de 1 si el individuo tiene 35 años o más y 0 en otro caso.
- $S_{n2}$ : Género del individuo  $n$ . Toma el valor de 1 si el género es masculino y 0 en otro caso.
- $S_{n3}$ : Nivel de ingreso del individuo  $n$ . Toma el valor de 1 si el individuo tiene un nivel de ingreso alto y 0 en otro caso.
- $I_{n1}$ : Calificación del indicador 1 dada por el individuo  $n$ .
- $I_{n2}$ : Calificación del indicador 2 dada por el individuo  $n$ .
- $I_{n3}$ : Calificación del indicador 3 dada por el individuo  $n$ .
- $I_{n4}$ : Calificación del indicador 4 dada por el individuo  $n$ .

$I_{n5}$ : Calificación del indicador 5 dada por el individuo  $n$ .

$I_{n6}$ : Calificación del indicador 6 dada por el individuo  $n$ .

$\lambda, \alpha, \beta$ : Parámetros a estimar.

$\omega, \varepsilon$ : Términos de error.

### ***A. Ecuaciones del modelo***

La ecuación estructural, que relaciona las características socioeconómicas de los individuos ( $S_n$ ) con la percepción de seguridad ( $Z_{n1}$ ), modela el proceso por el cual la variable latente es formada. En este caso, siguiendo el trabajo de Márquez et al. (2014), la variable latente fue especificada como una función exponencial con un término de error aleatorio  $\sigma_w$  que por identificación fue normalizado en 1:

$$Z_{n1} = e^{\lambda_{11}S_{n1} + \lambda_{12}S_{n2} + \lambda_{13}S_{n3} + \lambda_{14}S_{n4} + \lambda_{15}S_{n5} + \lambda_{16}S_{n6} + w_n}, \quad w_n \sim N(0, \sigma_w^2). \quad (1)$$

Para el modelo de elección se especificó un término de error aleatorio ( $\varepsilon_{nj}$ ) que distribuye Gumbel. En este caso, la utilidad sistemática ha sido especificada como una función de la percepción de seguridad ( $Z_{n1}$ ) y de las variables observables ( $X_j$ ). Las funciones de utilidad fueron especificadas así:

$$\begin{aligned} U_{n1} &= \text{Asc}_1 + \beta_1 Z_{n1} + \beta_2 X_{21} + \beta_3 X_{31} + \beta_4 X_{41} + \beta_5 X_{51} + \varepsilon_{n1} \\ U_{n2} &= \beta_2 X_{22} + \beta_3 X_{32} + \varepsilon_{n2} \end{aligned} \quad (2)$$

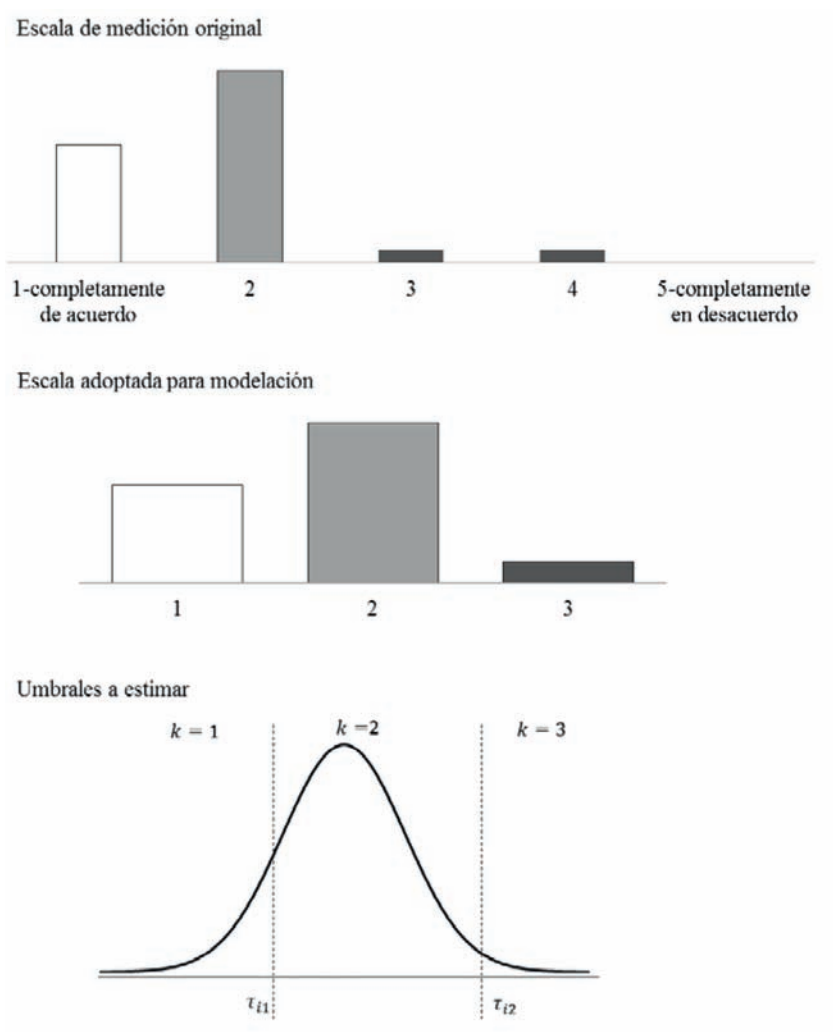
Las ecuaciones de medición fueron especificadas mediante modelos de tipo logit ordinal. Aunque originalmente se había considerado una escala de Likert de 5 puntos (ver, por ejemplo, Ory y Mokhtarian, 2005; Maldonado-Hinarejos et al., 2014), el tratamiento dado a las calificaciones de los indicadores con fines de modelación hizo una reagrupación en una escala de 3 puntos, tal como se ve en el Gráfico 3, lo que permitió mejorar el ajuste y reducir el número de umbrales a estimar (ver, por ejemplo, Márquez et al., 2014). Entonces, la probabilidad de observar  $k$  ( $k = 1, \dots, 3$ ) como una respuesta del indicador  $I_{in}$  se puede expresar así:



$$P(I_{in} = k) = \frac{1}{1 + e^{-(\tau_{ik} - \alpha_i Z_{nj})}} - \frac{1}{1 + e^{-(\tau_{ik-1} - \alpha_i Z_{nj})}}, \tag{3}$$

donde  $\tau$  son los umbrales a estimar,  $\tau_{i0} = -\infty, \tau_{i3} = +\infty$ .

**Gráfico 3.** Escala de medición de indicadores y umbrales a estimar



Fuente: elaboración propia (2015).

La elección se expresó como una función de las utilidades de las alternativas disponibles:

$$y_{nj} = \begin{cases} 1 & \text{if } U_{nj} = \max_m \{U_{nm}\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

El modelo integrado consta de las ecuaciones (1) a (4). Las ecuaciones (1) y (3) comprenden el modelo de variables latentes, y las ecuaciones (2) y (4) comprenden el modelo de elección. De las ecuaciones (2) y (4) y de los supuestos realizados con respecto a la distribución de los términos de error ( $\Sigma_\varepsilon$  y  $\Sigma_\omega$ ) se construyó la función de verosimilitud, dadas las observaciones de las elecciones individuales y las calificaciones reagrupadas de los indicadores de medición,  $P(y_n, I_{in}/X_j, S_n, Z_{n1}, Z_{n2}; \beta, \alpha, \tau, \lambda, \Sigma_\varepsilon, \Sigma_\omega)$ .

La estimación simultánea de los parámetros desconocidos del modelo integrado de elección y variables latentes se hizo mediante la técnica de máxima verosimilitud simulada, empleando 1000 extracciones de números aleatorios para simular la distribución individual de cada término de error. A pesar de la dificultad inherente, se hizo la estimación simultánea del modelo de elección y variables latentes, ya que teóricamente este enfoque es superior al de estimación secuencial (Walker, 2001). El problema de la estimación se resolvió en el programa OxMetrics™ considerando además el efecto panel de las observaciones, mediante la adaptación del código computacional escrito originalmente por Arellana (2012).

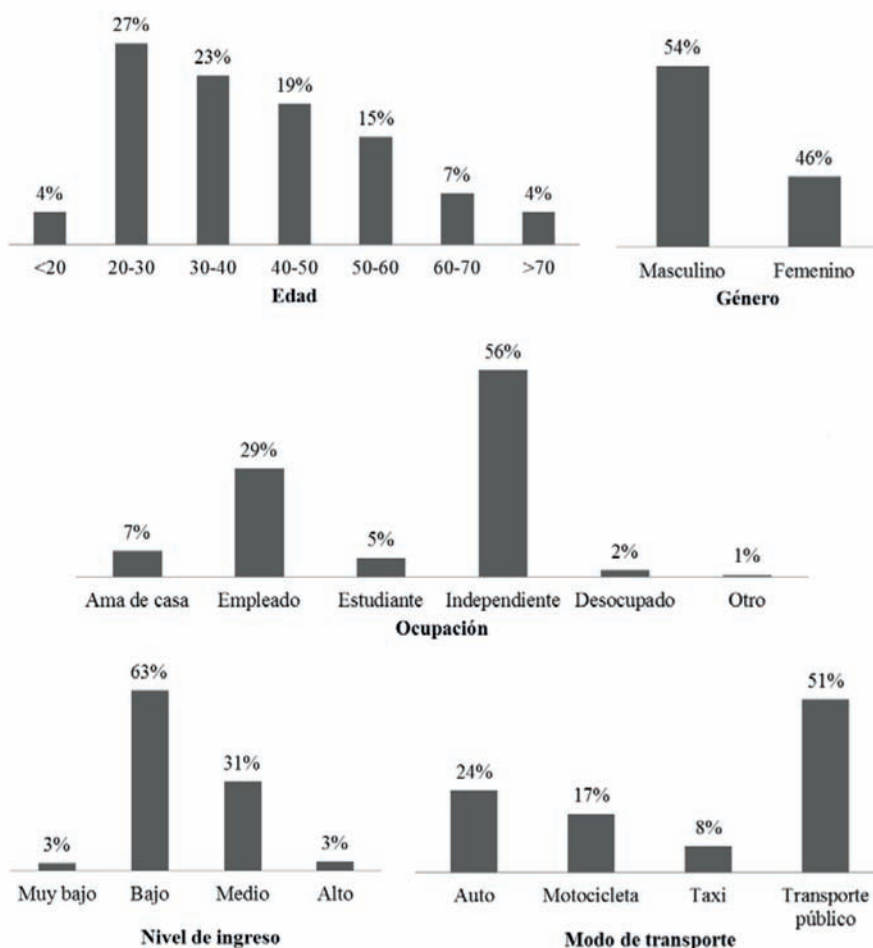
## **B. Encuesta**

Para evaluar la influencia que tiene la percepción de seguridad en el proceso de elección de la integración bicicleta-metro se aplicó una encuesta de preferencias declaradas en la localidad de Kennedy, en Bogotá, que permitió obtener observaciones de 157 individuos, casi todos adultos, considerados usuarios potenciales de dicha estrategia de integración<sup>6</sup>. El gráfico 4 muestra la distribución de los atributos socioeconómicos de los individuos.

---

6 La encuesta fue aplicada en marzo de 2015 a una muestra representativa de hombres y mujeres que residen en la localidad de Kennedy, que es la más poblada de todas las localidades de Bogotá. Los diseños preliminares del metro de Bogotá indican que la primera línea tendrá

**Gráfico 4.** Distribución de los atributos socioeconómicos de los individuos



Fuente: elaboración propia (2015).

En cuanto al género, la muestra contiene 54% de hombres y 46% de mujeres. Los encuestados reportaron un promedio de edad de 40 años, en un

---

como punto de partida dicha localidad, específicamente en el sitio conocido como Portal de Las Américas.

rango de edades entre 15 y 78. La distribución de la propiedad de automóviles indicó que el 30% tiene su auto propio, pero solo el 24% de los individuos reportó utilizar el auto como modo habitual de transporte, lo que se considera consistente con la política de restricción de uso vehicular denominada *pico y placa*, que se encuentra vigente en la ciudad desde 1998.

Como es común en las ciudades latinoamericanas, Bogotá presenta una importante segregación del ingreso —que se vio reflejada en la muestra—, donde la distribución de los encuestados exhibe una mayor frecuencia relativa de individuos con nivel de ingreso bajo. Esta distribución guarda correspondencia con la distribución de los individuos por estrato socioeconómico<sup>7</sup>, en la que se encontró el 51% de los encuestados en estratos 1 y 2.

### ***C. Indicadores de la percepción de seguridad***

Los indicadores fueron introducidos para caracterizar la percepción de seguridad y, permitir, económicamente, su identificación, proporcionando además mayor eficiencia en la estimación del modelo completo (Kim, Rasouli y Timmermans, 2014). Estadísticamente los indicadores tienen la particularidad de ser endógenos al proceso de elección y, por lo tanto, no son utilizados por el modelo en modo predictivo (Walker, 2001; Rungie, Coote y Louviere, 2012).

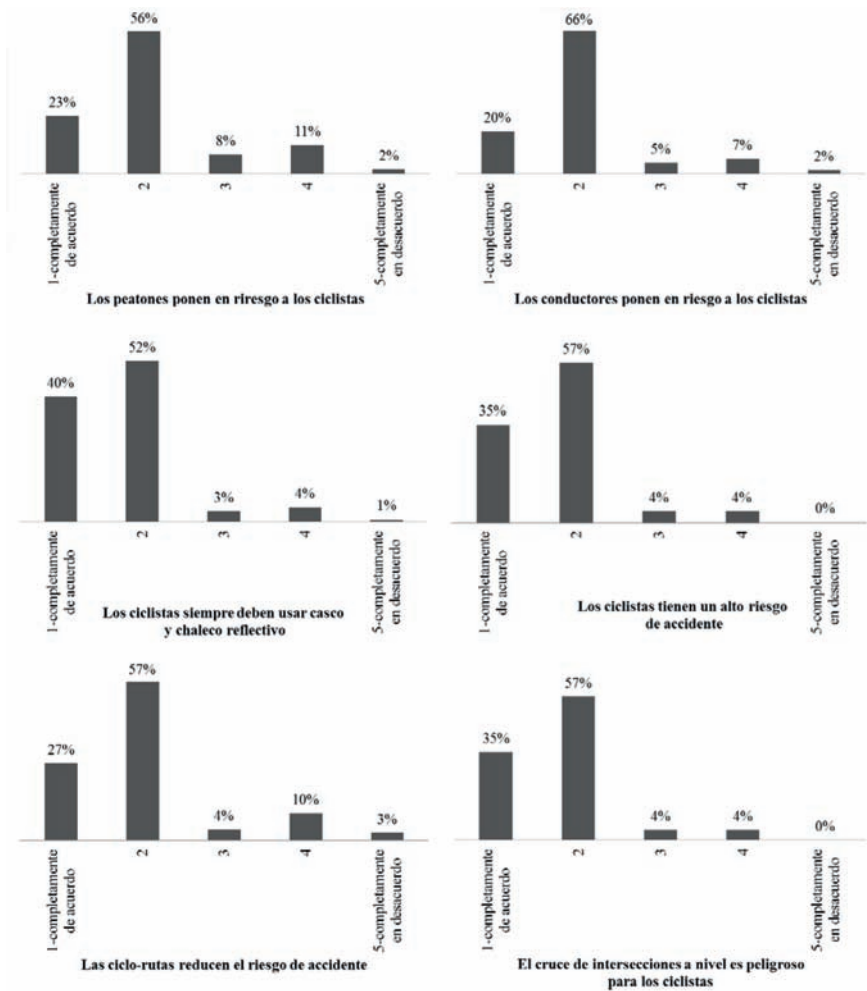
Cada individuo calificó 6 indicadores de seguridad en una escala de Likert de 5 puntos, siendo 1 completamente de acuerdo y 5 completamente en desacuerdo. Los indicadores fueron propuestos como preguntas o afirmaciones con respecto a la seguridad de utilizar la bicicleta como modo de transporte. Los indicadores utilizados fueron: los peatones ponen en riesgo a los ciclistas, los conductores ponen en riesgo a los ciclistas, los ciclistas siempre deben

---

7 Es importante aclarar que, en Colombia, la estratificación socioeconómica se determina realmente para las unidades de vivienda en las zonas urbanas y no propiamente para los individuos, pero normalmente se detecta una fuerte correlación entre ingresos y estrato. Del mismo modo, tal como lo indica el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá, el estrato socioeconómico también guarda relación con los indicadores de viaje de los usuarios, siendo así que en promedio el tiempo diario dedicado a viajar tiene una diferencia de más de media hora entre personas de estrato 1 y 6, como consecuencia de las limitantes que tienen los hogares pobres para elegir su sitio de residencia, viéndose obligados a localizarse en la periferia.

usar casco y chaleco reflectivo, los ciclistas tienen un alto riesgo de accidente, las ciclorrutas reducen el riesgo de accidente y el cruce de intersecciones a nivel es peligroso para los ciclistas.

**Gráfico 5.** *Distribución de la calificación de los indicadores de la percepción de seguridad*



Fuente: elaboración propia (2015).

El Gráfico 5 muestra la distribución de la calificación que los individuos asignaron a cada uno de los indicadores de la percepción de seguridad. Como se puede ver, a pesar de haber utilizado una escala de calificación de 5 puntos, la mayoría de los individuos emitió su calificación en los niveles 1 y 2, es decir manifestando estar completamente de acuerdo o simplemente de acuerdo. Muy pocos individuos se mostraron indiferentes (nivel 3) y la cantidad de individuos que manifestaron su desacuerdo con los estamentos presentados también fue pequeña. Por tal razón se decidió reagrupar la escala de calificación para efectos de modelación –tal como se ilustró en el gráfico 3–, dejando solo tres puntos para medir las percepciones con respecto a la variable latente.

#### ***D. Experimento de elección***

El contexto de elección fue la localidad de Kennedy, situada al suroeste de la ciudad. Por extensión es la octava localidad de Bogotá, siendo además la más poblada de todas las localidades, pues alberga al 14% de los residentes de la ciudad. Actualmente la localidad Kennedy es servida por la troncal de Las Américas del sistema de transporte masivo Transmilenio. En dicha localidad se encuentra el Portal de Las Américas, estación terminal que concentra varias rutas alimentadoras que atienden los barrios Casablanca, El Recreo, El Tintal, Patio Bonito, Corabastos, Castilla, entre otros. Según los diseños, la primera línea del metro, que tendría 26,5 kilómetros de longitud y 28 estaciones, iniciaría su recorrido en el Portal de Las Américas con dirección al norte de la ciudad, hasta llegar a la última parada que estaría localizada en la calle 100.

En este contexto se diseñó un experimento de preferencias declaradas en el que se presentó a cada individuo un total de 9 situaciones de elección entre su modo actual de transporte y la alternativa de integración bicicleta-metro<sup>8</sup>. El experimento fue dirigido a usuarios actuales del auto, taxi, motocicleta y transporte público, que manifestaron su interés en considerar esta nueva

---

8 Normalmente no es recomendable que un individuo se enfrente a más de 9 situaciones de elección debido a la carga cognitiva que este tipo de encuestas conlleva.

alternativa como una opción válida para la realización de viajes urbanos. Entonces, el experimento tenía dos alternativas: elegir la integración bicicleta-metro o continuar utilizando su modo de transporte habitual.

Las variables experimentales utilizadas fueron la distancia a recorrer en bicicleta, la infraestructura disponible para hacer el recorrido en bicicleta, la tarifa o costo de cada alternativa y el tiempo de viaje de cada una de ellas. Fue empleado un diseño experimental ortogonal en las diferencias de valores para las dos alternativas, tal como se indica en la Tabla 2.

En todas las situaciones hipotéticas de elección los usuarios eran conscientes de que existiría un parqueadero de bicicletas en la futura estación del metro muy parecida a la que actualmente existe en el Portal de Las Américas de Transmilenio. Esta suposición fue necesaria debido a la importancia que tienen los parqueaderos de bicicleta para los bogotanos (Steer Davies Gleave, 2013).

**Tabla 2.** *Diseño experimental*

Variable	Nivel	Diferencia entre alternativas
Distancia recorrida en bicicleta (km)	0	1
	1	3
Infraestructura para bicicleta	0	Con carriles para bicicleta
	1	Sin infraestructura
Tarifa o costo (miles de \$)	0	1,5
	1	2,0
	2	2,5
Tiempo de viaje (min)	0	15
	1	10
	2	25

*Fuente:* elaboración propia (2015).

### III. Discusión de resultados

La Tabla 3 muestra dos modelos: el modelo integrado de elección y variables latentes ICLV, cuya especificación se mostró en el gráfico 2, y el modelo de referencia logit mixto ML, que consideró el efecto de panel de las observaciones. Los dos modelos fueron estimados usando las observaciones de 157 individuos quienes evaluaron 9 situaciones de elección, conformando así una muestra total de 1.413 observaciones para la estimación del modelo de elección. La tabla 3 está conformada por tres partes: la parte superior muestra los resultados de los modelos de elección, la segunda parte resume los indicadores de ajuste de ambos modelos, mientras que la última parte contiene los resultados del modelo de variable latente, es decir, los coeficientes de la ecuación estructural y de las ecuaciones de medición. En todos los casos se muestra el coeficiente estimado junto con el estadístico t-robusto que permite evaluar la significancia estadística de los coeficientes estimados.

Los 12 umbrales estimados no son mostrados en la tabla, pero se comprobó su coherencia, en el sentido que el umbral 2 fuese estrictamente mayor al umbral 1 en cada uno de los modelos ordinales. De todas formas, como estadísticamente los indicadores son endógenos al proceso de elección, ninguno de los coeficientes del modelo de medición es necesario para emplear el modelo en modo predictivo (Walker, 2001; Rungie et al., 2012) ya que, como se había discutido, los indicadores solo son útiles en la identificación de la variable latente (Kim et al., 2014).

En los dos modelos de elección, todos los coeficientes resultaron estadísticamente significativos con una confianza superior al 99%. Es evidente que la inclusión de la variable latente mejoró significativamente el ajuste del modelo de elección, encontrando que el valor del test de razón de verosimilitud es igual a 122,65, lo que indica que la mejora alcanzada al haber incluido una variable más al modelo de elección es estadísticamente significativa con una confianza muy superior al 99%. El mejor ajuste del modelo ICLV también es evidenciado en el mayor valor del estadístico  $R^2$  que aumentó de 0,162 en el modelo ML a 0,237 en el modelo ICLV.



**Tabla 3. Coeficientes estimados de los modelos**

Variable	Descripción	ICLV		ML	
		Coeficiente estimado	t-robusto	Coeficiente estimado	t-robusto
MODELO DE ELECCIÓN					
Variables explicativas					
$\beta_1$	Percepción de seguridad	0,981	6,40		
$\beta_2$	Tiempo de viaje	-0,0966	-5,85	-0,02812	-2,62
$\beta_3$	Costo	-1,482	-7,80	-1,177	-8,02
$\beta_4$	Distancia	-1,062	-11,41	-0,8129	-12,08
$\beta_5$	Infraestructura	-1,083	-5,64	-0,7883	-5,41
$Asc_1$	Constante específica de la integración bicicleta-metro	-3,247	-7,04	-1,338	-3,94
Reporte general					
$N$	Número de observaciones		1413		
$L(0)$	Log-verosimilitud inicial		-847,357		
$L(\theta)$	Log-verosimilitud en convergencia	-615,92		-677,245	
$\bar{\rho}^2$	Ro cuadrado ajustado	0,237		0.162	
MODELO DE VARIABLE LATENTE					
Modelo estructural de la percepción de seguridad					
$\lambda_{11}$	Usuario de auto	-0,1051	-0,675		
$\lambda_{12}$	Usuario de motocicleta	1,143	7,19		
$\lambda_{13}$	Usuario de taxi	1,0188	4,42		
$\lambda_{14}$	Edad	0,0488	0,396		
$\lambda_{15}$	Género	-0,149	-1,28		
$\lambda_{16}$	Nivel de ingreso	-0,392	-3,31		
Modelo de medición de la variable latente					
$\alpha_1$	Los peatones ponen en riesgo a los ciclistas	17,28	1,80		
$\alpha_2$	Los conductores ponen en riesgo a los ciclistas	7,90	3,50		
$\alpha_3$	Los ciclistas siempre deben usar casco y chaleco reflectivo	7,57	3,31		
$\alpha_4$	Los ciclistas tienen un alto riesgo de accidente	7,24	4,19		
$\alpha_5$	Las ciclorrutas reducen el riesgo de accidente	1,21	2,86		
	El cruce de intersecciones a nivel es peligroso para los ciclistas.	4,14	4,00		

Fuente: elaboración propia (2015).

Los signos obtenidos para los coeficientes del modelo de elección son correctos. El signo positivo de la variable latente indica que una mayor percepción de seguridad de la bicicleta tiene un efecto positivo en la utilidad sistemática de la estrategia de integración bicicleta-metro, lo que produce a su vez un incremento en la demanda por esta alternativa. Los signos negativos de las variables tiempo de viaje, costo y distancia son razonables, ya que cualquier incremento en alguna de estas variables disminuye la utilidad sistemática de la alternativa en la que se produzca dicho cambio, disminuyendo así su probabilidad de elección. Además, dada la especificación de la variable infraestructura, donde 1 indica la ausencia de carriles exclusivos, se puede comprobar que el signo negativo es correcto, ya que ante la ausencia de este tipo de infraestructura es razonable que la utilidad de la integración bicicleta-metro disminuya. Por último, el signo negativo de la constante específica de la integración bicicleta-metro indica que, manteniendo todo lo demás constante, los individuos encuentran una mayor utilidad en su modo de transporte actual.

Los resultados del modelo estructural evidencian, en el contexto de elección estudiado, diferencias significativas en la percepción de seguridad de la bicicleta para los usuarios de motocicleta, de taxi y, en general, para los individuos según el nivel de ingreso. En cambio, la condición de usuario de auto, la edad y el género dieron como resultado coeficientes que no son estadísticamente significativos al 5%. Esto quiere decir que este tipo de personas no perciben de manera diferente la seguridad de la bicicleta. No obstante, el coeficiente del atributo género, cuyo valor estimado es significativo al 20%, sugiere que los hombres tienen una menor percepción de seguridad de la bicicleta que las mujeres, lo que podría estar relacionado con experiencias negativas sobre el uso de este modo de transporte, que es más generalizado entre los hombres que en las mujeres.

Los hallazgos significativos que se pueden extraer del modelo estructural indican que, en el contexto de elección estudiado, los usuarios de motocicleta tienen una mayor percepción de seguridad de la bicicleta que los usuarios de auto, taxi o transporte público. Así mismo, los usuarios de taxi tienen una mayor percepción de seguridad de la bicicleta que los usuarios de auto o transporte público. Claramente, el hecho de que el coeficiente asociado a la

condición de usuario de motocicleta sea mayor que el coeficiente asociado a la condición de usuario de taxi, indica que la percepción de seguridad del usuario de motocicleta es mayor que la del usuario del taxi.

Desde otra perspectiva, es bien sabido que la valoración del tiempo de viaje depende considerablemente de la especificación del modelo (Gaudry, Jara-Díaz y Ortúzar, 1989; Márquez, 2013) y, en tal sentido, los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran precisamente la importancia de esta variación. Como se deduce de los coeficientes estimados, la valoración del tiempo de viaje obtenida con el modelo ML da como resultado 23,89 \$/min, en tanto que el modelo ICLV da como resultado 65,18 \$/min, siendo este último un valor más razonable si se compara con los resultados de otros estudios (ver, por ejemplo, Márquez, 2013). Este es un hallazgo de gran interés, dado el importante papel que desempeña la valoración del tiempo en la evaluación de los proyectos de transporte (Brown y Ryan, 2011), donde gran parte de los beneficios consisten precisamente en ahorros de tiempo (Kidokoro, 2006; Lakshmanan et al., 2001).

Para evidenciar las diferencias en la estimación de la demanda obtenida con los dos modelos, se hizo el cálculo de probabilidades de elección de la alternativa de integración bicicleta-metro, como se ve en la Tabla 4. Aunque la estimación consideró distintas clases de usuario en función del modo de transporte actual y nivel de ingreso, es claro que el modelo ML no responde a esta variación porque su especificación no incluyó atributos individuales. En todo caso, se evidencia una sobreestimación de la demanda por la integración bicicleta-metro con el modelo mixto de referencia en cada una de las situaciones que fueron evaluadas. En este caso en particular, dicha sobreestimación se presenta especialmente por el valor estimado de la constante específica, que para el modelo ML penaliza mucho menos la escogencia de la integración bicicleta-metro.

Entonces, tal como lo había sugerido Walker (2001) y como se ha podido comprobar empíricamente en otros estudios (ver, por ejemplo, Márquez et al., 2014; Márquez et al., 2015), en el contexto de elección de la integración bicicleta-metro, donde la variable latente percepción de seguridad resultó ser estadísticamente significativa, se verifica que el modelo híbrido no solo

**Tabla 4.** Probabilidades de elección de la integración bicicleta-metro

Individuo	Tiempo de viaje (min)	Costo (miles \$)	Distancia bicicleta (km)	Infraestructura	Probabilidad
Usuario de motocicleta Ingreso bajo	Integración: 30 Modo actual: 25	Integración: 2,0 Modo actual: 3,5	2	Ciclorruta	ICLV: 0,08 ML: 0,21
				No	ICLV: 0,03 ML: 0,11
			3	Ciclorruta	ICLV: 0,03 ML: 0,10
				No	ICLV: 0,01 ML: 0,05
Usuario de motocicleta Ingreso alto	Integración: 30 Modo actual: 25	Integración: 2,0 Modo actual: 3,5	2	Ciclorruta	ICLV: 0,05 ML: 0,21
				No	ICLV: 0,02 ML: 0,11
			3	Ciclorruta	ICLV: 0,02 ML: 0,10
				No	ICLV: 0,01 ML: 0,05
Usuario de taxi Ingreso bajo	Integración: 30 Modo actual: 35	Integración: 2,0 Modo actual: 4,5	2	Ciclorruta	ICLV: 0,45 ML: 0,53
				No	ICLV: 0,22 ML: 0,34
			3	Ciclorruta	ICLV: 0,22 ML: 0,33
				No	ICLV: 0,09 ML: 0,19
Usuario de taxi Ingreso alto	Integración: 30 Modo actual: 35	Integración: 2,0 Modo actual: 4,5	2	Ciclorruta	ICLV: 0,36 ML: 0,53
				No	ICLV: 0,16 ML: 0,34
			3	Ciclorruta	ICLV: 0,16 ML: 0,33
				No	ICLV: 0,06 ML: 0,19

Fuente: elaboración propia (2015).

mejora la bondad de ajuste, y en consecuencia las estimaciones de demanda, sino que permite además estudiar en mejor forma el comportamiento de los usuarios con respecto a sus percepciones en elecciones de transporte.

## Conclusiones

En este trabajo ha sido calibrado un modelo híbrido de elección y variables latentes para estudiar el efecto de la percepción de seguridad en la demanda de la integración entre bicicleta y metro en la ciudad de Bogotá. Al comparar los indicadores de bondad de ajuste del modelo con un modelo logit mixto de referencia se encontró una significativa mejoría de la log-verosimilitud en convergencia del modelo de elección. En conclusión, la evidencia empírica aportada en la presente investigación respalda la hipótesis principal, en el sentido de que la percepción de seguridad es significativa en el proceso de elección y, por lo tanto, tiene un efecto en las predicciones de demanda por la integración entre bicicleta-metro.

En el caso de estudio se encontró que el modelo mixto utilizado como referencia produce una sobreestimación de la demanda por la integración bicicleta-metro, que se explica principalmente por el mayor valor de la constante modal de este modelo en comparación con la magnitud de dicha constante en el modelo integrado. Dicha sobreestimación es mayor en los escenarios que no consideran la provisión de carriles exclusivos para bicicleta. Se concluye que, en el caso estudiado, la introducción de la variable latente percepción de seguridad corrige esta sobreestimación, siendo posible recomendar el uso de modelos integrados de elección y variables latentes cuando sea necesario estimar la demanda de estas estrategias de integración entre bicicletas y transporte público.

Se identificó una línea de investigación relacionada con el impacto que tiene la modelación híbrida en la valoración del tiempo de viaje, en comparación con las valoraciones hechas con los modelos tradicionales ya que, como quedó evidenciado, al estimar el valor subjetivo del tiempo de viaje se encontró una diferencia significativa que puede tener importantes implicaciones en la evaluación de proyectos de transporte, particularmente en los análisis beneficio-costos de proyectos de infraestructura para bicicletas. Se considera

muy útil desarrollar esta línea de investigación no solo en el contexto de los viajes en bicicleta sino en todos aquellos contextos de elección de transporte donde la percepción de seguridad sea significativa.

Si bien la revisión de la literatura mostró importantes avances en el estudio de la percepción de seguridad en contextos de transporte, se puede evidenciar que todavía quedan algunas brechas por cerrar, como, por ejemplo, la incorporación de factores objetivos que permitan evaluación de políticas asociadas con la seguridad. Este tópico en particular puede ser muy importante en contextos de elección relacionados con la bicicleta, ya que se puede formular la hipótesis de que las percepciones de seguridad pueden ser diferentes según el tipo de infraestructura que los individuos tengan a disposición para sus viajes en bicicleta. Estas líneas de investigación pueden ser desarrolladas siguiendo una metodología similar a la que se empleó en la presente investigación, ampliando un poco el marco de modelación para incorporar el efecto de variables objetivas en las percepciones.

### Bibliografía

- ADAMS, John (1998). “Evaluating the effectiveness of road safety measures”, *Traffic Engineering and Control*, Vol. 21, Issue 6, pp. 344–352.
- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ (2012). *En bicicleta La Cicloruta, ‘un estilo de vida’ en Bogotá*. Recuperado de: <http://www.movilidadbogota.gov.co/?sec=8> (10 de febrero de 2012).
- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ (2013). “Capítulo para la caracterización de la demanda de transporte del SITP con la inclusión de nuevos proyectos de infraestructura”, *Documento técnico*. Subgerencia Técnica y de Servicios, Alcaldía Mayor de Bogotá.
- ARELLANA, Julián (2012). *Modelos de elección de hora de inicio de viajes*, Tesis doctoral, Pontificia Universidad de Chile, Chile.
- BEN-AKIVA, Moshe; MCFADDEN, Daniel; GÄRLING, Tommy; GOPINATH, Dinesh; WALKER, Joan; BOLDUC, Denis; BÖRSCH-SUPAN, Axel; DELQUIÁ,

- Philippe; LARICHEV, Oleg; MORIKAWA, Taka; POLYDOROPOULOU, Amalia & RAO, Vithala (1999). "Extended Framework for Modeling Choice Behavior", *Marketing Letters*, Vol. 10, Issue 3, pp. 187-203.
- BEN-AKIVA, Moshe; MCFADDEN, Daniel; TRAIN, Kenneth; WALKER, Joan; BHAT, Chandra; BIERLAIRE, Michel; BOLDUC, Denis; BOERSCH-SUPAN, Axel; BROWNSTONE, David; BUNCH, David S.; DALY, Andrew; DE PALMA, Andre; GOPINATH, Dinesh; KARLSTROM, Anders & MUNIZAGA, Marcela A. (2002). "Hybrid Choice Models: Progress and Challenges", *Marketing Letters*, Vol. 13, Issue 3, pp. 163-175.
- BOLDUC, Denis; BEN-AKIVA, Moshe; WALKER, Joan & MICHAUD, Alain (2005). "Hybrid choice models with logit kernel: applicability to large scale models". In: M. Lee-Gosselin, S. Doherty (Eds.), *Integrated Land-Use and Transportation Models: Behavioural Foundations* (pp. 275-302). Elsevier: Oxford.
- BOLDUC, Denis; BOUCHER, Nathalie & ÁLVAREZ-DAZIANO, Ricardo (2008). "Hybrid choice modelling of new technologies for car choice in Canada", *Transportation Research Record*, Vol. 2082, pp. 63-71.
- BROWN, David & RYAN, Lisa (2011). "Comparative analysis of evaluation techniques for transport policies", *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 31, Issue 3, April 2011, pp. 226-233.
- CHATAWAY, Elijah Steven; KAPLAN, Sigal; NIELSEN, Thomas Alexander & PRATO, Carlo Giacomo (2014). "Safety perceptions and reported behavior related to cycling in mixed traffic: A comparison between Brisbane and Copenhagen", *Transportation Research F*, Vol. 23, pp. 32-43.
- CHENG, Yung-Hsiang & LIU, Kuo-Chu (2012). "Evaluating bicycle-transit users' perceptions of intermodal inconvenience", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 46, Issue 10, pp. 1690-1706.
- COMENDADOR, Julio; MONZÓN, Andrés & LÓPEZ-LAMBAS, María Eugenia (2014). "A General Framework to Testing the Effect of Transport Policy

- Measures to Achieve a Modal Shift: A Sequential Hybrid Model”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 162, pp. 243-252.
- DALY, Andrew; HESS, Stephane; PATRUNI, Bhanu; POTOGLOU, Dimitris & ROHR, Charlene (2012). “Using ordered attitudinal indicators in a latent variable choice model: a study of the impact of security on rail travel behavior”, *Transportation*, Vol. 39, pp. 267–297.
- DAZIANO, Ricardo A. (2012). “Taking account of the role of safety on vehicle choice using a new generation of discrete choice models”, *Safety Science*, Vol. 50, Issue 1, pp. 103-112.
- EWING, Reid; SCHROEER, William & GREENE, William (2004). “School location and students travel: analyses of factors affecting mode choice”, *Transportation Research Record*, Vol. 1895, pp. 55–63.
- FERNÁNDEZ-HEREDIA, Álvaro; JARA-DÍAZ, Sergio & MONZÓN, Andrés (2014). “Modelling bicycle use intention: the role of perceptions”, *Transportation*. Article in Press.
- GAUDRY, Marc. J.; JARA-DÍAZ, Sergio R. & ORTÚZAR, Juan de Dios (1989). “Value of time sensitivity to model specification”, *Transportation Research Part B*, Vol. 23, Issue 2, pp. 151-158.
- GIVONI, Moshe & RIETVELD, Piet (2007). “The access journey to the railway station and its role in passengers’ satisfaction with rail travel”, *Transport Policy*, Vol. 14, Issue 5, pp. 357–365.
- HABIB, Khandker Nurul; MANN, Jenessa; MAHMOUD, Mohamed & WEISS, Adam (2014). “Synopsis of bicycle demand in the City of Toronto: Investigating the effects of perception, consciousness and comfortability on the purpose of biking and bike ownership”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 70, pp. 67-80.
- HAMED, M. M. & AL ROUSAN, Taleb M. (1998). “The impact of perceived risk on urban commuters’ route choice”, *Road and Transport Research*, Vol. 7, Issue 4, pp. 46–63.



- JOHANSSON, Maria (2006). "Environment and parental factors as determinants of mode for children's leisure travel", *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 26, Issue 2, pp. 156–169.
- KIDOKORO, Yukihiro (2006). "Benefit estimation of transport projects – A representative consumer approach", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 40, Issue 7, pp. 521–542.
- KIM, Jinhee; RASOULI, Soora & TIMMERMANS, Harry (2014). "Hybrid Choice Models: Principles and Recent Progress Incorporating Social Influence and Nonlinear Utility Functions", *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 22, pp. 20–34.
- KOPPELMAN, Frank S. & PAS, Eric I. (1980). "Travel choice behaviour: models of perceptions, feelings, preference, and choice", *Transp. Res. Rec.*, Vol. 765, pp. 26–33.
- LAKSHMANAN, T.R.; NIJKAMP, Peter; RIETVELD, Piet & VERHOEF, Erik Teodoor (2001). "Benefits and costs of transport Classification, methodologies and policies", *Papers in Regional Science*, Vol. 80, Issue 2, pp. 139–164.
- MALDONADO-HINAREJOS, Rafael; SIVAKUMAR, Aruna & POLAK, John W. (2014). "Exploring the role of individual attitudes and perceptions in predicting the demand for cycling: a hybrid choice modelling approach", *Transportation*, Vol. 41, Issue 6, pp. 1287–1304.
- MANNERING, Fred L. & BHAT, Chandra (2014). "Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions", *Analytic Methods in Accident Research*, Vol. 1, pp. 1–22.
- MARTENS, Karel (2004). "The bicycle as a feedering mode: experiences from three European countries", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 9, Issue 4, pp. 281–294.

- MÁRQUEZ, Luis (2013). “Disposición a pagar por reducir el tiempo de viaje en Tunja (Colombia): Comparación entre estudiantes y trabajadores con un modelo Logit mixto”, *Lecturas de Economía*, Vol. 78, pp. 45-72.
- MÁRQUEZ, Luis; CANTILLO, Víctor & ARELLANA, Julián (2014). “How are comfort and safety perceived by inland waterway transport passengers?”, *Transport Policy*, Vol. 36, pp. 46-52.
- MÁRQUEZ, Luis; CANTILLO, Víctor & ARELLANA, Julián (2015). “Mobile phone use while driving: A hybrid modeling approach”, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 78, pp. 73-80.
- McFADDEN, Daniel (2013). “The new science of pleasure: consumer choice behavior and the measurement of well-being”. Retrieved from: <http://elsa.berkeley.edu/wp/mcfadden122812.pdf>
- ORY, David T. & MOKHTARIAN, Patricia L. (2005). “When is getting there half of the fun? Modelling the liking for travel”, *Transportation Research A, Policy and Practice*, Vol. 39, Issue 2, pp. 97-123.
- PARDO, Carlos Felipe; CAVIEDES, Álvaro & CALDERÓN, Patricia (2013). *Estacionamientos para bicicletas. Guía de elección, servicio, integración y reducción de emisiones*. Bogotá: Despacio & ITDP.
- PAULSEN, Marcel; TEMME, Dirk; VIJ, Akshay & WALKER, Joan (2014). “Values, Attitudes and Travel Behavior: A Hierarchical Latent Variable Mixed Logit Model of Travel Mode Choice”, *Transportation*, Vol. 41, Issue 4, pp. 873-888.
- PUCHER, John & BUEHLER, Ralph (2009). “Integrating Bicycling and Public Transport in North America”, *Journal of Public Transportation*, Vol. 12, No. 3, pp. 79-104.
- PUELLO, Lissy La Paix & GEURS, Karst (2015). “Modelling observed and unobserved factors in cycling to railway stations: Application to transit-oriented-developments in the Netherlands”, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, Vol. 15, Issue 1, pp. 27-50.

- RIETVELD, Piet & DANIEL, Vanessa (2004). "Determinants of bicycle use: do municipal policies matter?", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 38, Issue 7, pp. 531–550.
- RUNGIE, Cam M.; COOTE, Leonard V. & LOUVIERE, Jordan J. (2012). "Latent variables in discrete choice experiments", *Journal of Choice Modelling*, Vol. 5, Issue 3, pp. 145–156.
- SAGARIS, Lake & OLIVO, Héctor (2010). *El Plan Maestro de Ciclo Rutas del Bicentenario*. Santiago, Chile: Living City.
- SANDERS, Rebecca L. (2015). "Perceived traffic risk for cyclists: The impact of near miss and collision experiences", *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 75, pp. 26–34.
- SKINNER, Reinhard (2004). "City profile Bogotá", *Cities*, Vol. 21, No. 1, pp. 73–81.
- STEER DAVIES GLEAVE (2013). *Formulación y estructuración de un plan estratégico para promover el uso de la bicicleta como medio de transporte cotidiano en grupos: informe poblacionales específicos*. Autor: Bogotá.
- SVENSSON, Åse & HYDÉN, Christer (2006). "Estimating the severity of safety related behavior", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 38, Issue 2, pp. 379–385.
- TAM, Mei Ling; LAM, William H. K. & LO, Hing Po (2010). "Incorporating passenger perceived service quality in airport ground access mode choice model", *Transportmetrica*, Vol. 6, Issue 1, pp. 3–17.
- TARGA, Felipe; HUICI, Rodolfo; VÉLEZ, Jean Paul; DEAMBROSI, Sergio; JIMÉNEZ, Javier; IRIARTE, Sandra & VECCO, Caterina (2010). *Urban services program for Bogotá, Institutional support for the integrated public transport system*, (CO-L1076), Loan proposal, Document of the Inter-American Development Bank, Bogotá, 28 p.
- TSIRIMPA, Athena; POLYDOROPOULOU, Amalia & ANTONIOU, Constantinus (2010). "Development of a Latent Variable Model to Capture the Impact

- of Risk Aversion on Travelers' Switching Behavior", *Journal of Choice Modelling*, Vol. 3, Issue 1, pp. 127-148.
- VANDENBULCKE, Grégory; DUJARDIN, Claire; THOMAS, Isabelle; DE GUES, Bas; DEGRAEUWE, Bart; MEEUSEN, Romain & PANIS, Luc Int (2011). "Cycle commuting in Belgium: spatial determinants and 're-cycling' strategies", *Transp. Res. Part A*, Vol. 45, Issue 2, pp. 118-137.
- VERMA, Philip. D.; LÓPEZ, José Segundo & PARDO, Carlos Felipe (2015). *Bogotá 2014 Bicycle Account*. Recuperado de: <http://despacio.org/wp-content/uploads/2015/01/Bicycle-Account-BOG-2014-0150109-LR.pdf>
- VREDIN JOHANSSON, Maria; HELDT, Tobias & JOHANSSON, Per (2006). "The effects of attitudes and personality traits on mode choice", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 40, Issue 6, pp. 507-525.
- WALKER, Joan Leslie (2001). *Extended discrete choice models: Integrated framework, flexible error structures, and latent variables*, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 208 p.
- WALKER, Joan Leslie & BEN-AKIVA, Moshe (2002). "Generalized random utility model", *Math. Soc. Sci.*, Vol. 43, Issue 3, pp. 303-343.
- YANG, Chen; WANG, Wei; LI, Zhibin & LU, Jian (2009). "Travel Mode Choice Based on Latent Variable Enriched Discrete Choice Model", *International Conference on Transportation Engineering 2009* (pp. 4372-4377).
- YÁÑEZ, María F; RAVEAU, Sebastián & ORTÚZAR, Juan de Dios (2010). "Inclusion of latent variables in Mixed Logit models: Modelling and forecasting", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 44, Issue 9, pp. 744-753.