

Entendiendo la percepción del riesgo de accidentes en conductores: un enfoque con variables latentes

UNDERSTANDING DRIVERS' ACCIDENT RISK PERCEPTION: A LATENT VARIABLES' APPROACH

Thomas E. Guerrero^{a*}, Juan de Dios Ortúzar^b y Sebastián Raveau^b

a. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia

b. Depto. de Ingeniería de Transporte y Logística, Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS), Pontificia Universidad Católica de Chile

* Autor para correspondencia:
teguerrero@ufps.edu.co

RESUMEN

Las entidades gubernamentales y no gubernamentales necesitan herramientas de decisión para atacar la pandemia en que se han convertido los accidentes de tránsito, que año a año cobran millones de vidas en todo el planeta. Como la evidencia indica que el factor humano es un causante de muerte por accidentes viales, esta investigación se enfocó en identificar variables que incidieran sobre la percepción del riesgo de accidentes mientras se conduce, incorporando variables latentes. La modelación consideró la estimación de modelos a partir de preferencias declaradas. Los escenarios hipotéticos de conducción presentados se caracterizaron mediante cuatro atributos: (i) velocidad de conducción, (ii) conducir en contravía, (iii) adelantar a un vehículo en curva, y (iv) conducir bajo efectos del alcohol o drogas. Se estimaron las variables latentes Concentración y Conducción Segura relacionadas fuertemente con características socioeconómicas de los individuos (género, edad, ocupación, y experiencia previa de accidentes). Los resultados indican que las personas con actitudes de conducción segura tienden a no conducir bajo la influencia del alcohol/drogas. Por otro lado, los conductores que no tienden a distraerse con otras actividades (ver el celular, radio, velocímetro o similares) mientras conducen, también procuran no conducir en contravía y no realizar adelantamientos en curva.

Palabras clave: variables latentes, percepción del riesgo, modelos híbridos de elección discreta

ABSTRACT

Both governmental and non-governmental entities require decision tools to deal with what has become a traffic accidents' pandemic resulting in millions of deaths around the world. With evidence showing that the human factor is one of the major causes of these accidents, there is much interest in identifying the variables that impact vehicle drivers' perception of risk. This paper develops an approach built around a hybrid discrete choice model using stated choice data and hypothetical driving scenarios characterized by four attributes: (i) driving speed, (ii) driving the wrong way on a one-way street, (iii) overtaking on a curve, and (iv) driving under the influence of alcohol or drugs. The model incorporates two latent variables, Driver Concentration and Safe Driving, both strongly related to drivers' socioeconomic characteristics (sex, age, occupation, vision/hearing impairment licence restrictions and previous accident experience). Our modelling results show that drivers with safe driving behaviour tend not to drive under the influence of alcohol or drugs and that those who avoid distractions (checking their cell phone, car radio, speedometer, etc.) also tend to avoid excessive speed and overtaking on curves.

Keywords: Latent variables, Risk perception, Hybrid discrete choice models

1. INTRODUCCIÓN

Las estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (2009) muestran que las lesiones causadas por accidentes de tránsito son la novena causa mundial de muertes y la primera entre jóvenes de 15 a 29 años. Si no se toman medidas respecto a esta pandemia, las tendencias indican que los accidentes de tránsito se convertirán en la quinta causa de muerte para el año 2030, pasando de 1,24 millones a 2,4 millones de muertes anuales. Existen factores internos y externos asociados a la ocurrencia de accidentes viales; el estado de la vía, las condiciones climáticas y del vehículo se vinculan a factores externos (Caliendo et al., 2007; Vieira Gomes, 2013); por otro lado, los factores internos se asocian a la condición humana y se consideran más influyentes en la generación de accidentes (Machado et al., 2016). Por ejemplo, según Luna-Blanco (2013), 70% a 90% de los accidentes de tránsito se asocian a actitudes inseguras por parte del conductor.

La actitud de los conductores en materia de seguridad vial y su percepción del riesgo son dos factores humanos asociados al comportamiento que influyen en los accidentes de tráfico (Ram y Chand, 2016). Diversas investigaciones (Bamberg et al., 2003; Francis et al., 2004) han abordado la relación existente entre comportamiento de conducción y percepción de riesgo de accidentes de tránsito. La percepción de seguridad vial por parte de los conductores influye en el comportamiento y desempeño de las tareas de conducción; esto aumenta cuando se toma el riesgo de incurrir en violaciones a las normas de tráfico; sin embargo, surge la pregunta de cómo poder medir este tipo de conductas (Wang et al., 2002).

Los primeros avances en investigación sobre estos temas fueron reportados por Homel (1988) y Christ et al. (1999), en las décadas de los 80's y 90's, logrando comprobar relaciones entre el comportamiento de los conductores y el conocimiento de la normativa del tránsito. La aptitud de conducción comprende un conjunto de talentos y habilidades que pueden perfeccionarse a lo largo del tiempo y moldean la percepción del riesgo de accidentes del conductor (Ram y Chand, 2016).

Diversas investigaciones han también abordado la asociación entre el comportamiento del conductor y los accidentes de tránsito; ejemplos de conductas no recomendables son: contestar el celular mientras se conduce (Vanlaar y Yannis, 2006; Márquez et al., 2015), enviar mensajes de texto desde el celular mientras se conduce (Atchley et al., 2014), exceder el límite de velocidad (Mairean et al., 2017), nivel de distracción de los conductores, no mantener la distancia adecuada con el vehículo que le precede, conducir bajo los efectos de drogas o medicamentos, no respetar las reglas de adelantamiento (Machado et al., 2016), conducir bajo estados emocionales estresantes (Petridou y Moustaki, 2000), mal estado de salud al momento de conducir (Bone y Mowen, 2006), conducir por el carril contrario (Yao y Wu, 2011), confianza al momento de estar al volante, conducir en estado de embriaguez (Hongranagon et al., 2011), adelantamientos peligrosos (Hassen et al., 2011) y no usar el cinturón de seguridad (Zhao et al., 2009), entre otras. Estas investigaciones han utilizado metodologías basadas en pruebas psicométricas, análisis factorial, logit ordinal, ecuaciones estructurales, regresión logística y análisis estadístico bivariado.

En la literatura actual son escasas las investigaciones que han abordado el problema de percepción del riesgo de accidentes en conductores incorporando variables latentes (VL) y modelos híbridos de elección discreta (HDC). Estos modelos permiten incluir no sólo atributos tangibles sino también elementos intangibles asociados con las percepciones y actitudes de las personas a través de las VL. Dentro de la revisión bibliográfica específica de este tema, destaca el trabajo de Danaf et al. (2015), quienes desarrollaron un modelo HDC combinado con un modelo de tipo Hidden Markov para analizar las causas de la conducción agresiva y pronosticar sus manifestaciones. Igualmente, Márquez et al. (2015) evaluaron el comportamiento de los conductores que utilizaban teléfono móvil durante la conducción, formulando un modelo de elección que integró la VL "*percepción de riesgo*". Iversen (2004) estudió las actitudes de riesgo y comportamiento de conducción riesgoso, definiendo tres variables latentes exógenas (*i.* actitud hacia violaciones de normas de tránsito y exceso de velocidad, *ii.* conducción descuidada, *iii.* actitud hacia beber y conducir) y una variable latente endógena (comportamiento de conducción riesgoso) y estimó modelos de ecuaciones estructurales para determinar la relación entre los rasgos de personalidad y el comportamiento de conducción riesgoso en conductores jóvenes. Finalmente, Ulleberg y Rundmo (2003) encuentran que la personalidad influye en el comportamiento de conducción riesgosa indirectamente a través de la conducta. Estos últimos dos estudios incluyeron cuestionarios donde se indagó por indicadores de percepción y se estimó ecuaciones estructurales, pero no se utilizaron instrumentos de Preferencias Declaradas (PD) ni modelos HDC, como en nuestro enfoque.

Esta investigación se centra en identificar las variables que inciden en mayor o menor grado sobre la percepción del riesgo en accidentes mientras se conduce. El enfoque de modelación consistió en estimar diferentes formas funcionales de modelos Logit a partir de información recolectada mediante encuestas de PD. Los escenarios hipotéticos de conducción se caracterizaron mediante cuatro atributos: (*i*) velocidad de conducción, (*ii*) conducir en sentido contrario, (*iii*) adelantar a un

vehículo en curva, y (iv) conducir bajo los efectos del alcohol o drogas. A la luz de los resultados se evidencia que los modelos HDC -que contemplan el efecto de actitudes y percepciones subjetivas- presentan un buen comportamiento reflejado en los signos acertados de los parámetros de las variables estimadas, así como en la significancia estadística de las mismas. Se logró especificar dos VL, *Concentración y Conducción Segura*, que resultaron relevantes para entender la percepción del riesgo de accidentes en conductores. Estas VL se relacionan fuertemente con las características socioeconómicas de los individuos (género, edad, ocupación, y experiencia previa de accidentes).

El resto del documento se organiza de la siguiente forma: En el capítulo 2 se presenta el enfoque de modelación haciendo énfasis en los modelos HDC incorporando VL. En el capítulo 3 se examina la naturaleza de los datos, abarcando el diseño de la encuesta y un resumido análisis estadístico de la muestra. En el capítulo 4 se discute el mejor modelo estimado, así como un detallado análisis a partir del mismo. Finalmente, en el capítulo 5 se presentan las principales contribuciones y conclusiones de la investigación.

2. APROXIMACIÓN METODOLÓGICA

2.1 Variables latentes

Si se desea medir el impacto de atributos subjetivos en el comportamiento de elección de las personas, un enfoque adecuado puede ser a través de VL. Su aplicación ha sido muy frecuente en el área de transporte (Bolduc y Alvarez-Daziano, 2009; Yáñez et al., 2010), aunque también se conoce en mercadotecnia (Ashok et al., 2002; Luo et al., 2008; Lam et al., 2010), economía del trabajo (Humlum et al., 2012), economía espacial (Hurtubia y Bierlaire, 2014), turismo (Chia-Jung y Pei-Chun, 2014) y economía ambiental (Hess y Beharry-Borg, 2012). Tal como se mostrará más adelante, el enfoque tiene una aplicación importante en la determinación de las percepciones individuales cuando están sometidos a maniobras de conducción.

Las variables latentes (η_{ilq}) se explican a partir de las características socioeconómicas de los individuos (S_{igr}) mediante ecuaciones estructurales; además, las VL explican los indicadores de percepción (y_{ipq}) mediante *ecuaciones de medición* (Ortúzar y Willumsen, 2011). La especificación de estos dos tipos de ecuaciones se presenta a continuación:

$$\eta_{ilq} = \sum_r \alpha_{jlr} * S_{igr} + v_{ilq}$$

$$Y_{ipq} = CTEI_p + \sum_l \gamma_{ilp} * \eta_{ilq} + \xi_{ipq}$$

donde α_{jlr} y γ_{ilp} son parámetros por estimar, mientras que v_{ilq} y ξ_{ipq} son los términos de error con media cero y desviación estándar a estimar. Respecto a los subíndices, i se refiere a alternativa dentro del conjunto disponible en la elección, q denota al individuo, l corresponde a la variable latente, r es la variable explicativa y p describe el indicador (Ortúzar y Willumsen, 2011).

2.2 Modelos híbridos de elección discreta

A diferencia de los modelos de elección discreta tradicionales, los modelos HDC permiten incorporar dentro de su especificación a las VL. Este tipo de variables reflejan aspectos que influyen en la decisión, pero que a ojos del modelador son intangibles (no medibles) tales como la seguridad, la comodidad y riesgo, entre otros.

En la literatura se han planteado dos enfoques para estimar este tipo de modelos: la estimación secuencial (Ashok et al., 2002; Raveau et al., 2010) y la estimación simultánea (Bolduc y Alvarez-Daziano, 2009; Raveau et al., 2009). En esta investigación se utilizó el enfoque simultáneo porque tiene múltiples ventajas (Bahamonde-Birke y Ortúzar, 2014).

En este caso se maximiza la verosimilitud de la probabilidad de replicar las elecciones individuales sobre la base de la utilidad representativa (sistemática) propuesta por el modelador (Ortúzar y Willumsen, 2011) incluyendo las variables latentes y su modelo asociado. La función de utilidad que involucra atributos objetivos (x_{ikq}) y variables latentes (η_{ilq}) se representa como:

$$v_{iq} = \sum_k \theta_{ik} * x_{ikq} + \sum_l \beta_{il} * \eta_{ilq}$$

en que θ_{ik} y β_{il} son parámetros por estimar. Los atributos x_{ikq} se suponen conocidos por el modelador y se pueden obtener a través de instrumentos adecuados (por ejemplo, encuestas de PD); mientras que las η_{ilq} son desconocidas, pero pueden estimarse con un modelo estructural de tipo MIMIC (Joreskog y Goldberger, 1975). Para estimar este modelo es necesario introducir la información asociada a los indicadores de percepción (y_{ipq}) en la ecuación de medición para que el modelo sea identificable (los indicadores son endógenos a las variables latentes).

Para caracterizar las decisiones individuales se definen las variables binarias g_{iq} , que toman valores de acuerdo a la siguiente expresión:

$$g_{iq} = \{ 1 \text{ si } U_{iq} \geq U_{jq} \forall j \in A(q) \text{ 0 en otro caso} \}$$

donde la utilidad de un individuo q por la alternativa i (U_{iq}) está compuesta por la suma de un término conocido por el modelador (V_{iq}) y otro aleatorio (Domencich y McFadden, 1975; Williams, 1977). $A(q)$ representa el conjunto de alternativas disponibles para el individuo q .

De esta forma, la probabilidad de elección estará dada por la expresión mostrada a continuación y se estima por máxima verosimilitud simulada (Ortúzar y Willumsen, 2011), donde $f(\cdot)$ corresponde a la función densidad de probabilidad de los indicadores y $h(\cdot)$ representa la función densidad de probabilidad de las variables latentes.

$$Prob(g_{iq}, y_{ipq} | x_{ikq}, s_{iqr}, \theta_{ik}, \beta_{il}, \alpha_{ilr}, \gamma_{ipq}) = \int Prob(g_{iq} | x_{ikq}, \eta_{ilq}, \theta_{ik}, \beta_{il}) \cdot f(\gamma_{ipq} | \eta_{ilq}, \gamma_{ipq}) \cdot h(\eta_{ilq} | S_{iqr}, \alpha_{ilr})$$

La integración del modelo de elección junto con el de VL se ilustra en la Figura 1. Como en cualquier modelo de elección, la utilidad (U_{iq}) del individuo es explicada a partir de las variables del modelo y las VL. A su vez, los indicadores de percepción son variables observables que se manifiestan como constructos latentes. La flecha discontinua representa la ecuación de medición que enlaza la U_{iq} , no observable, con la elección. Las flechas continuas representan las ecuaciones estructurales que enlazan las variables observables y las VL con U_{iq} (Ben-Akiva et al., 2002).

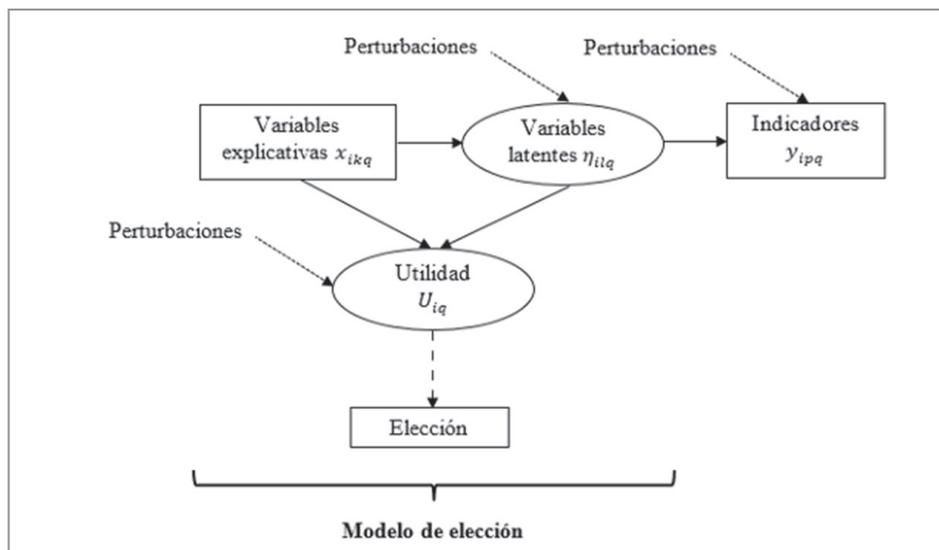


Figura 1. Modelo híbrido de elección discreta. Fuente: Ben-Akiva et al. (2002)

3. DATOS

Los datos se obtuvieron en Ocaña, una ciudad de tamaño pequeño en Colombia y segunda en importancia del departamento Norte de Santander, a aproximadamente 400 km al noreste de Bogotá (Colombia). Posee un área urbana de 7 km² y una población de 93.650 habitantes (Dirección Nacional de Planeación, 2010). La zona de estudio presenta un régimen térmico que varía entre 13 y 25 °C a lo largo del año, mostrando una temperatura promedio de 19 °C. El relieve general del casco urbano varía en pendientes entre el 5 y 25% (Dirección Nacional de Planeación, 2010). La ubicación geográfica de la zona de estudio se muestra en la Figura 2.

Las personas entrevistadas declararon tener experiencia previa de conducción en cualquier tipo de vehículos. A continuación, se presentan los detalles del diseño del instrumento con el cual se recolectó la información, así como un análisis estadístico general de la muestra.

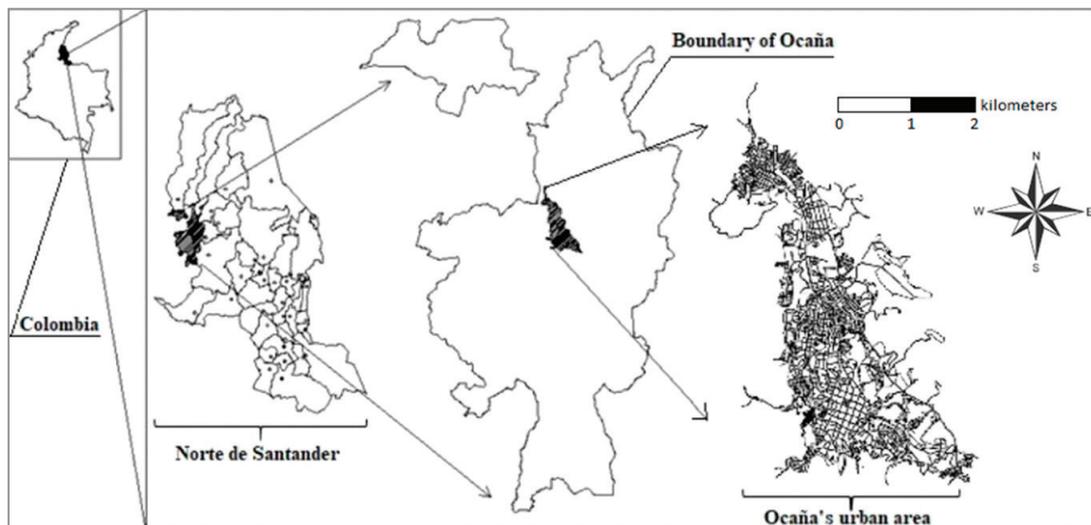


Figura 2. Ubicación geográfica de la zona de estudio. Fuente: Orozco et al. (2017)

3.1 Diseño de la encuesta

Para obtener las percepciones asociadas al riesgo de los conductores y la influencia de su comportamiento al volante, se diseñó un instrumento de preferencias declaradas (PD) en que se confrontaba a los encuestados con dos escenarios hipotéticos de conducción y se les solicitaba elegir uno de ellos. La primera parte del cuestionario buscaba obtener información socioeconómica del encuestado tal como: género, edad, ocupación principal, nivel de estudio, estado civil, tipo de incapacidades, posesión de licencia de conducción, antigüedad de la licencia de conducción, si su trabajo actual involucraba conducir un vehículo, si había estado involucrado en un accidente de tránsito, e ingresos personales mensuales. Luego, el instrumento preguntaba por cuatro indicadores de percepción que posteriormente serían explicados por dos VL: Concentración y Conducción Segura. Se solicitó al encuestado responder la pregunta asignada al indicador en función de cuatro posibles respuestas (siempre, frecuentemente, algunas veces y nunca). Cada indicador se denotó con un número, siendo la pregunta asociada la mostrada a continuación:

- 1) ¿Realiza otras actividades mientras conduce? (por ejemplo: ver el nivel de gasolina, ver el nivel de velocímetro, graduar el estéreo).
- 2) ¿Utiliza el celular mientras conduce? (contesta y/o chatea).
- 3) ¿Conduce en condiciones no óptimas? (por ejemplo: bajo efecto de drogas, lesiones, sueño, estrés).
- 4) ¿Utiliza el cinturón de seguridad (o casco en el caso de motos) a la hora de conducir?

Seguidamente se presentaba un cuestionario de PD, cuyo diseño consideraba ocho escenarios hipotéticos de conducción con dos alternativas cada uno. Cada alternativa, a su vez, estaba caracterizada por cuatro atributos: *i*) velocidad de conducción, *ii*) conducir en contravía, *iii*) adelantar a un vehículo en curva, y *iv*) conducir bajo efectos de alcohol y drogas. De estos, la velocidad de conducción variaba en tres niveles, mientras que los otros tres (conducir en contravía, adelantar a un vehículo en curva y conducir bajo efectos de alcohol y drogas) variaban en dos niveles. Al encuestado se le solicitó –para cada escenario hipotético presentado– elegir la alternativa que considerara de mayor riesgo de accidentes (Ver Figura 3).

1	VELOCIDAD (km/hr)	CONducIR EN CONTRAVIA	ADELANTAR A OTRO VEHICULO EN CURVA	CONducIR BAJO EL EFECTO DE DROGAS Y/O ALCOHOL	Elija la alternativa que considerara de mayor riesgo de accidentes
ALTERNATIVA 1	120	NO	NO	NO	O
ALTERNATIVA 2	70	NO	SI	SI	O

Figura 3. Modelo típico de presentación de escenarios hipotéticos de conducción

Los atributos y niveles que caracterizaban a las situaciones de elección en el experimento de PD se presentan en la Tabla 1. La selección de estos atributos se realizó siguiendo las indicaciones de Krueger y Casey (2009) para grupos focales. El diseño experimental del instrumento contempló los principios básicos de ortogonalidad (Kocur et al., 1982), balance de niveles y superposición mínima descritos por Zwerina et al. (2005). La encuesta se aplicó presencialmente a personas en sus lugares de trabajo (bancos, escuelas, universidades, hospitales, entre otras) o residencias permanentes. También se aplicaron encuestas en sitios públicos como parques y centros comerciales. El requisito básico para realizar la encuesta era haber conducido automóvil. El muestreo fue totalmente aleatorio (Pachón y Zabaleta, 2015).

Tabla 1
Variables y niveles del experimento de PD

Variables	Niveles	Alternativa 1	Alternativa 2
Velocidad de conducción (km/hr)	0	120	90
	1	100	70
	2	80	50
Conducir en contravía	0	No	No
	1	Si	Si
Adelantar a un vehículo en curva	0	No	No
	1	Si	Si
Conducir bajo efectos de alcohol y/o drogas	0	No	No
	1	Si	Si

3.2 Análisis de la muestra

En total se obtuvo 200 encuestas validadas que arrojaron un total de 1600 observaciones utilizadas para estimar modelos. Las opciones de respuesta para cada variable, así como la distribución dentro de ellas se muestra en la Tabla 2. La muestra contiene personas mayores de edad (18 años o más), de los cuales el 35% corresponde a mujeres y el 65% restante a hombres. Buena parte de la muestra (66%) corresponde a personas empleadas, de hecho, se tiene registros de encuestas que reportaron que su empleo actual involucraba conducir un vehículo. El 39% de las personas declaró haber estado involucrado en algún accidente previo a la encuesta; esta pregunta se consideró en la encuesta, ya que se partió de la hipótesis que estar involucrado en algún accidente puede provocar algún tipo de cambio en la percepción del riesgo en los conductores.

Tabla 2
Caracterización de algunas de las variables en la muestra

Variable	Identificación en el modelo	Descripción	Porcentaje	
Género	género	Masculino	65%	
		Femenino	35%	
Edad	edad1	18-25 años	29%	
		edad2	26-35 años	32%
		edad3	36-45 años	18%
		> 45 años	22%	
Ocupación principal	ocupación1	Estudiante	23%	
		ocupación 2	Empleado	66%
		ocupación 3	Desempleado	1%
		Otro	10%	
¿Ha estado involucrado en un accidente?	accidente	Sí	39%	
		No	61%	

En la Figura 4 se presenta un contraste de cada indicador preguntado en la encuesta en función de las respuestas. Se puede ver que el 23% de los encuestados afirma conducir bajo condiciones no óptimas (estresado, con sueño, entre otras) en ocasiones. Por otro lado, el uso del cinturón de seguridad se utiliza siempre solo en el 59% de los casos. El 37% de los encuestados reporta usar el celular mientras realiza maniobras de conducción; este aspecto es a considerar ya que en Colombia es una práctica que ha venido en aumento y está prohibida, exceptuando si se cuenta con un dispositivo de manos libres (Márquez et al., 2015). Finalmente, existe una alta cantidad de casos (79%) en los cuales los conductores tienden a desconcentrarse haciendo otras actividades mientras conducen, lo que es una causal importante de accidentes de tránsito (Choudhary y Velaga, 2017).

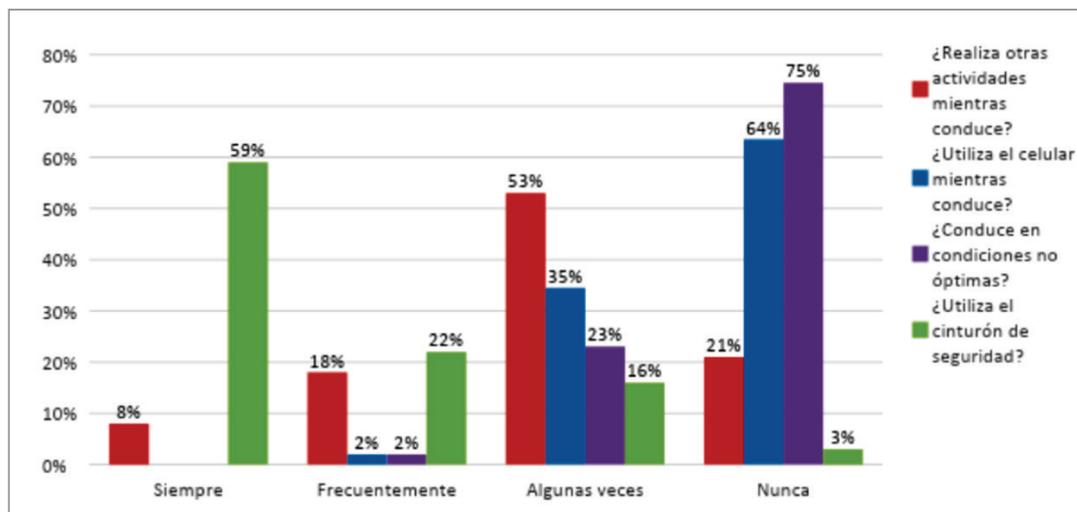


Figura 4. Porcentajes de respuestas por indicador

4. ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE MODELOS

A continuación, se presenta la estructura del modelo HDC, que busca explicar la percepción del riesgo de accidentes en individuos sometidos a escenarios hipotéticos de conducción. El modelo fue estimado utilizando la versión Python de Biogeme (Bierlaire, 2003). Seguidamente se muestra un minucioso análisis de los resultados.

4.1 Estructura del modelo con variables latentes

Se consideró dos VL: Concentración y Conducción Segura. Estas se explicaron a partir de diferentes variables socioeconómicas recolectadas durante la encuesta. Por otro lado, los cuatro indicadores preguntados en el instrumento se explican a partir de las dos VL consideradas. La VL *Concentración* se explicó a partir de las variables socioeconómicas género, edad, ocupación principal, y experiencia previa de accidentes; mientras que la VL *Conducción Segura* se explicó a partir de la ocupación principal. Para incluir estas variables en la estimación, se convirtieron en variables mudas. Por otro lado, los indicadores ¿Realiza otras actividades mientras conduce? y ¿Utiliza el celular mientras conduce? se explican a partir de la VL *Concentración*, mientras que la VL *Conducción Segura* explica los indicadores ¿Conduce en condiciones no optimas? y ¿Utiliza el cinturón de seguridad (o casco en el caso de motos) a la hora de conducir? Las relaciones existentes entre las variables socioeconómicas, VL e indicadores de percepción se muestran en la Figura 5.

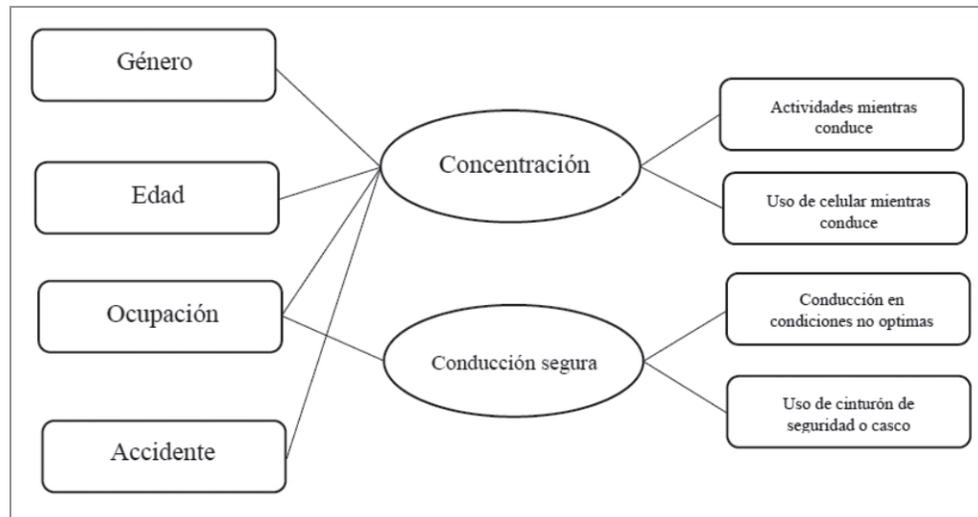


Figura 5. Relación entre variables socioeconómicas, VL e indicadores de percepción

4.2 Estructura del modelo de elección discreta

Durante la etapa de búsqueda de la mejor especificación, se estimó modelos progresivamente más sofisticados partiendo de modelos sencillos (especificación y cantidad de variables) hasta llegar a modelos más flexibles, de manera que en cada etapa se establecía la validez respecto a la estructura general y la de cada parámetro estimado junto con el signo esperado.

Finalmente se logró estimar un modelo HDC (Ortúzar y Willumsen, 2011) con interacción de efectos entre las variables principales que caracterizaban las alternativas y las VL's (Concentración y Conducción Segura). Todos los modelos se estimaron en función de los cuatro atributos del experimento: *i*) velocidad de conducción (*vel*), *ii*) conducir en contravía (*ccv*), *iii*) adelantar a un vehículo en curva (*avc*), y *iv*) conducir bajo efectos de alcohol y drogas (*cad*), que caracterizaban a cada escenario hipotético de conducción.

4.3 Resultados

El modelo HDC se presenta en la Tabla 3, donde se puede observar los parámetros estimados para las variables principales e interacción de efectos de las variables explicativas con las VL. Este modelo se comparó con versiones más sencillas (por ejemplo, logit multinomial sin VL), resultando el HDC en una mejor especificación. En la Tabla 4 se presenta la ecuación estructural y en la Tabla 5 la ecuación de medición. Se hace referencia a la cantidad de observaciones utilizadas en la estimación, así como la log-verosimilitud de convergencia ($L(\theta)$) y el índice rho cuadrado (ρ^2). Para cada coeficiente estimado se presenta su correspondiente *test-t*, a partir del cual se puede comprobar su significancia estadística.

Respecto al modelo HDC, se puede observar que las variables explicativas (velocidad de conducción, conducir en contravía, adelantar a un vehículo en curva, y conducir bajo efectos de alcohol y drogas) son significativas al nivel de confianza del 95% y tienen signo acorde a la teoría. El signo positivo del atributo θ_{vel} sugiere que los individuos sienten un aumento en la percepción del riesgo (o de peligrosidad) a medida que la velocidad aumenta, hecho que concuerda con Wang et al. (2002), Perdomo et al. (2014) y Machado et al. (2016). Idéntico efecto presentan las variables θ_{ccv} , θ_{avc} y θ_{cad} , sugiriendo que cuando un individuo conduce en contravía, adelanta a un vehículo en curva o conduce bajo efectos de alcohol y/o drogas, su percepción de riesgo aumenta.

El atributo que genera una mayor percepción de peligrosidad entre los individuos en el modelo estimado es el asociado a conducir bajo efecto de alcohol y/o drogas (tiene la mayor magnitud y presenta el test-t más alto). Mediante la estimación de interacciones fue posible integrar las VL al modelo de elección. Se estimó dos interacciones con la VL Concentración y una con la VL Conducción Segura. La estimación de la interacción θ_{cad} *Conducción Segura indica que las personas con actitudes de conducción segura tienden a no conducir bajo la influencia de alcohol/drogas. Por otro lado, el signo negativo de los parámetros θ_{ccv} *Concentración y θ_{avc} *Concentración indica que los conductores que no tienden a distraerse con otras actividades (ver el celular, estéreo, velocímetro, o similares) mientras conducen, también procuran no conducir a alta velocidad y a no realizar adelantamientos en curva. La interacción θ_{avc} *Concentración resultó significativa para un nivel de confianza del 95%, mientras que θ_{cad} *Conducción Segura resultó serlo, pero para un nivel de confianza del 90%. Aunque la interacción θ_{ccv} *Concentración no resultó significativa al 90% de confianza, se decidió dejarla dentro del modelo para que éste resultara identificable.

Tabla 3
Modelo HDC estimado

Variable	Descripción	HDC	
		Valor	t-test
Variables explicativas			
θ_{avc}	Adelantamiento en curva	0,631	3,53
θ_{ccv}	Conducir en contravía	0,87	6,05
θ_{cad}	Conducir bajo efectos de alcohol y/o drogas	1,92	16,94
θ_{vel}	Velocidad de conducción	0,0162	7,85
θ_{avc} *Concentración	Interacción adelantamiento en curva y Concentración	-0,390	-2,77
θ_{cad} *Conducción Segura	Interacción conducir bajo efecto alcohol/drogas y Conducción Segura	-0,186	-1,70
θ_{ccv} *Concentración	Interacción adelantar vehículo en curva y Concentración	-0,101	-0,93
Reporte general			
N	Cantidad de observaciones	1600	
L(θ)	Log-verosimilitud	-1759,69	
ρ^2	Índice rho cuadrado	0,494	

Entre tanto, la ecuación estructural (Tabla 4) muestra significancia para un nivel de confianza del 95% en todas las variables estimadas, a excepción de la variable α_{oc3} (desempleado); se resalta la relevancia que tienen tanto las características socioeconómicas como la ocupación de los individuos y su efecto sobre las VL Concentración y Conducción Segura. El modelo estructural indica que los hombres tienden a estar más concentrados que las mujeres cuando se encuentran bajo maniobras de conducción, hecho que va en línea con los resultados de Márquez et al. (2015), quienes afirman que las mujeres son más propensas a usar teléfonos celulares mientras conducen, siendo esta una actividad que las hace perder concentración. Así mismo, los individuos con edades entre 36 y 45 años tienen mayores niveles de concentración con

respecto a los demás grupos de edades. Las personas que se encuentran desempleadas tienden a desconcentrarse más fácil y a tener hábitos inseguros de conducción. Finalmente, las personas que han estado involucradas en accidentes tienden a estar más concentrados mientras conducen, resultado que a priori era esperado.

Tabla 4
Ecuación estructural

Variable	Descripción	Valor	t-test
$\alpha_{\text{género}}$	Género (masculino)	-0,636	-3,49
α_{edad1}	Edad entre 18 y 25 años	1,17	6,72
α_{edad2}	Edad entre 26 y 35 años	0,447	2,93
α_{edad3}	Edad entre 36 y 45 años	-0,846	3,93
$\alpha_{\text{ocupación1}}$	Estudiante	-1,34	-7,98
$\alpha_{\text{ocupación2}}$	Empleado	-0,632	-4,67
$\alpha_{\text{ocupación3}}$	Desempleado	0,177	0,43
$\alpha_{\text{accidente}}$	Experiencia previa de accidente	-0,298	-2,41

La Tabla 5 muestra la ecuación de medición. Como puede observarse, todos los parámetros resultaron ser significativos para un nivel de confianza del 99%. Tal como era de esperarse, el signo negativo de las VL *Concentración* y *Conducción Segura* en la ecuación de medición implica que los conductores tienden a perder concentración cuando realizan actividades de forma paralela mientras conducen como mirar el velocímetro, el celular, el estéreo, entre otras. Igualmente, los conductores manifiestan comportamiento seguro de conducción cuando usan el cinturón de seguridad o cuando manejan en condiciones óptimas (es decir, sin sueño, sin estrés, entre otras).

Tabla 5
Ecuación de medición

Variable	Descripción	Valor	t-test
CTEI1	Constante del indicador 1	2,04	40,52
CTEI2	Constante del indicador 2	2,81	69,07
CTEI3	Constante del indicador 3	2,78	144,96
CTEI4	Constante del indicador 4	2,73	44,41
$\gamma_{\text{Concentración,y1}}$	VL Concentración que explica el indicador 1	0,189	6,07
$\gamma_{\text{Concentración,y2}}$	VL Concentración que explica el indicador 2	0,214	6,79
$\gamma_{\text{Conducción Segura,y3}}$	VL Conducción Segura que explica el indicador 3	0,0695	4,34
$\gamma_{\text{Conducción Segura,y4}}$	VL Conducción Segura que explica el indicador 4	0,494	10,52
ξ_1	Término de error asociado al indicador 1	0,804	50,12
ξ_2	Término de error asociado al indicador 2	0,466	29,97
ξ_3	Término de error asociado al indicador 3	0,484	55,26
ξ_4	Término de error asociado al indicador 4	0,672	18,60

5. CONCLUSIONES

Este trabajo muestra una aplicación de modelos econométricos formulados para identificar las variables que inciden sobre la percepción del riesgo en accidentes que afectan a los conductores utilizando técnicas de PD. Se destaca la calibración de modelos HDC en función de variables principales y dos variables VL (*Concentración* y *Conducción Segura*) como términos

no lineales en forma de interacción. Parte importante de esta labor es la estimación de ecuaciones estructurales y de medición que permiten explicar las VL en función de las características socioeconómicas de los individuos, y los indicadores de percepción en función de las VL.

Considerándose que el factor humano es uno de los mayores causantes de accidentes de tránsito, esta investigación contribuye en identificar qué variables (como la velocidad de conducción, conducir en contravía, adelantar a un vehículo en curva y conducir bajo efectos de alcohol y/o drogas) inciden sobre la percepción del riesgo de accidentes que afectan a los conductores. Para las cuatro variables estudiadas, la de mayor incidencia en la percepción del riesgo asociado a accidentes resultó ser la conducción bajo efectos de alcohol y/o drogas, mientras que la de menor incidencia - pero igualmente significativa - fue adelantar en curva.

Las variables arrojaron los signos esperados y su comportamiento resultó acorde a la teoría. Las interacciones entre las VL y las variables principales permitieron explicar la percepción del riesgo de accidentes en conductores; en particular, se encontró que personas con actitudes de conducción segura tendían a no conducir bajo la influencia de alcohol/drogas, mientras que los conductores que no se distraían con otras actividades (ver el celular, estéreo, velocímetro, o similares) mientras conducen, procuraban no aumentar la velocidad y no realizar adelantamientos en curva. Igualmente, los conductores tienden a perder concentración cuando realizan actividades de forma paralela mientras conducen como mirar el velocímetro, el celular, el estéreo, entre otras.

Los resultados de este estudio pueden contribuir al desarrollo de políticas públicas para la prevención de accidentes mejorando los comportamientos de conducción segura. Claramente la determinación de VL (Concentración y Conducción Segura), para evidenciar el impacto de atributos subjetivos en el comportamiento de conducción de las personas, puede ser un primer paso en esta dirección. Por ejemplo, las autoridades encargadas de otorgar licencias de conducción deberían proponer, como requisito obligatorio, cursos que sean capaces de educar y concientizar a los futuros conductores sobre la importancia e impacto de factores de riesgo como la velocidad de conducción, conducir en contravía, adelantar a un vehículo en curva y conducir bajo efectos de alcohol y/o drogas, y cómo estos afectan la percepción del riesgo en accidentes mientras se conduce. Por otro lado, tal como lo expresan Ulleberg y Rundmo (2003), respecto a la importancia de los rasgos de personalidad en las campañas de seguridad vial, estas deberían adaptar el mensaje al perfil de conductores con las características más riesgosas y por ende más propensas a accidentes; perfiles de personas jóvenes, de género femenino, desempleadas, y con experiencia previa de accidentes, son aparentemente conductores más distraídos y con hábitos no seguros de conducción.

A partir de los resultados, se percibió en los participantes del estudio cierto grado de conocimiento sobre la percepción del riesgo mientras eran sometidos a escenarios hipotéticos de conducción. Este tipo de resultado es acorde a lo reportado por Rupp et al. (2016), aclarando que su comportamiento podría ser diferente en la práctica. Basado en ello, una posible política que pueden implementar las autoridades es someter a un aprendizaje experimental en simuladores -en condiciones similares a los factores de riesgo de conducción encontrados en estudio -y evaluar su comportamiento. Alinear la percepción con la realidad suele ser efectivo (Rupp et al., 2016). Finalmente, desde la perspectiva del endurecimiento de la legislación respecto a actitudes inseguras de conducción, la evidencia muestra que no he tenido el impacto esperado (Westlake y Boyle, 2012) y, en este caso, Colombia no ha sido la excepción (Buitrago et al., 2015).

Futuras investigaciones pueden contemplar la inclusión del efecto de la conducción según tipo de vehículo (automóviles y motocicletas), ya que en países como Colombia las cifras de accidentes asociados a motociclistas son bastante altas (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2014), y se puede hacer la hipótesis que ambos tipos de conductores no sólo se comportan diferente, sino que los motociclistas son más temerarios. Igualmente, una posible extensión podría incluir el efecto de otras variables explicativas tales como conducir bajo condiciones no óptimas (estresado, cansado, entre otras) y no portar elementos de seguridad vehicular como casco o cinturón de seguridad. Sería importante considerar si la velocidad de conducción puede ser percibida de forma diferente entre los conductores. Esto sería un aspecto interesante, pues muchos países presentan altos índices de accidentes los cuales se asocian al exceso de velocidad (Mairean et al., 2017). Finalmente, un aspecto interesante sería lograr definir una variable apropiada asociada a un factor de costo (medio de pago) para estimar disposiciones al pago.

REFERENCIAS

- Ashok, K., Dillon, W. y Yuan, S. (2002). Extending discrete choice models to incorporate attitudinal and other latent variables. *Journal of Marketing Research*, 39(1), 31–46.
- Atchley, P., Shi, J. y Yamamoto, T. (2014). Cultural foundations of safety culture: A comparison of traffic safety culture in China, Japan and the United States. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 26, 317–325.
- Bahamonde-Birke, F.J. y Ortúzar, J. de D. (2014). Is sequential estimation a suitable second best for estimation of hybrid choice models? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2429), 51-58.
- Bamberg, S., Ajzen, I. y Schmidt, P. (2003). Choice of travel mode in the theory of planned behavior: The roles of past behavior, habit, and reasoned action. *Basic and Applied Social Psychology*, 25(3), 175–187.
- Ben-Akiva, M.E., Walker, J.L., Bernardino, A.T., Gopinath, D.A., Morikawa, T. y Polydoropoulou, A. (2002). Integration of choice and latent variable models. En H.S. Mahmassani (ed.), *In Perpetual Motion: Travel Behaviour Research Opportunities and Challenges*. Amsterdam: Pergamon.
- Bierlaire, M. (2003). BIOGEME: a free package for the estimation of discrete choice models. *Proceedings of the Third Swiss Transport Research Conference*. Ascona, Suiza.
- Bolduc, D. y Alvarez-Daziano, R. (2009). On estimation of hybrid choice models. En S. Hess y A. Daly (eds.), *Choice Modelling: The State-of-the-Art and the State-of-Practice*. Bingley, Emerald Group Publishing Limited.
- Bone, S.A. y Mowen, J.C. (2006). Identifying the traits of aggressive and distracted drivers: A hierarchical trait model approach. *Journal of Consumer Behaviour*, 5, 454–464.
- Buitrago, J.R., Norza, E. y Ruiz, H. (2015). Conductores en estado de embriaguez en Colombia y la implementación de la Ley 1696 de 2013. *Revista Criminalidad*, 57, 27-40.
- Caliendo, C., Guida, M. y Parisi, A. (2007). A crash-prediction model for multilane roads. *Accident Analysis and Prevention*, 39, 657–670.
- Chia-Jung, C. y Pei-Chun, C. (2014). Preferences and willingness to pay for green hotel attributes in tourist choice behaviour: The case of Taiwan. *Journal of Travel and Tourism Marketing*, 31(8), 937-957.
- Choudhary, P. y Velaga, N.R. (2017). Modelling driver distraction effects due to mobile phone use on reaction time. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 77, 351-365.
- Christ, R., Delhomme, P., Kaba, A., Makinen, T.S., Sagberg, F., Schulze, H. y Siegrist, S. (1999). GADGET. *Guarding Automobile Drivers through Guidance Education and Technology. Final report*. Vienna: Kuratorium für Verkehrssicherheit (KfV).
- Danaf, M., Abou-Zeid, M. y Kaysi, I. (2015). Modeling anger and aggressive driving behavior in a dynamic choice–latent variable model. *Accident Analysis and Prevention*, 75, 105-118.
- Domencich, T. y McFadden, D. (1975). *Urban Travel Demand: A Behavioral Analysis*. Amsterdam, North Holland.
- Dirección Nacional de Planeación. (2010). *Formulación del Plan Maestro de Movilidad del Municipio de Ocaña*. Bogotá DC.
- Francis, J., Eccles, M., Johnston, M., Walker, A., Grimshaw, J., Foy, R. y Bonetti, D. (2004). *Constructing questionnaire based on the theory of planned behavior. A manual for health services researchers*. Centre for Health Services Research, University of Newcastle upon Tyne.
- Hassen, A., Godesso, A., Abebe, L. y Girma, E. (2011). Risky driving behaviors for road traffic accident among drivers in Mekele city, Northern Ethiopia. *BioMed Central Research Notes*, 4(1), 535.

- Hess, S. y Beharry-Borg, N. (2012). Accounting for latent attitudes in willingness-to-pay studies: the case of coastal water quality improvements in Tobago. *Environmental and Resource Economics*, 52(1), 109-131.
- Homel, R. (1988). *Policing and Punishing the Drinking Driver: A Study of General and Specific Deterrence*. Nueva York: Springer-Verlag.
- Hongsranagon, P., Khompratya, T. y Hongpukdee, S. (2011). Traffic risk behavior and perceptions of Thai motorcyclists: a case study. *IATSS Research*, 35(1), 30–33.
- Humlum, M.K., Kleinjans, K.J. y Nielsen, H.S. (2012). An economic analysis of identity and career choice. *Economic Inquiry*, 50(1), 39-61.
- Hurtubia, R. y Bierlaire, M. (2014). Estimation of bid functions for location choice and price modelling with a latent variable approach. *Networks and Spatial Economics*, 14(1), 47-65.
- Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. (2014). *Forensis 2014 Datos para la Vida*. Bogotá D.C.
- Iversen, H. (2004). Risk-taking attitudes and risky driving behaviour. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 7(3), 135-150.
- Joreskog, K. y Goldberger, A. (1975). Estimation of a model with multiple indicators and multiple causes of a single latent variable. *Journal of American Statistical Association*, 70(351a), 631-639.
- Kocur, G., Adler, T., Hyman, W. y Aunet, B. (1982). Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment. Report N° UMTANH-11-0001-82, Urban Mass Administration, US Department of Transportation. Washington, D.C.
- Krueger, R. y Casey, M.A. (2009). *Focus Groups: A Practical Guide for Applied Research* (Cuarta ed.). Beverly Hills: SAGE Publications, Inc.
- Louviere, J.J., Hensher, D.A. y Swait, F.D. (2000). *Stated Choice Methods: Analysis and Applications in Marketing, Transportation and Environmental Valuation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lam, S.K., Ahearne, M., Hu, Y. y Schillewaert, N. (2010). Resistance to brand switching when a radically new brand is introduced: a social identity theory perspective. *Journal of Marketing*, 74(6), 128-146.
- Luna-Blanco, R. (2013). Percepción del riesgo y de seguridad ante la conducción de vehículos. *Carreteras*, 189, 48-56.
- Luo, L., Kannan, P.K. y Ratchford, B.T. (2008). Incorporating subjective characteristics in product design and evaluations. *Journal of Marketing Research*, 45(2), 182-194.
- Machado, J.L., de Oña, J., de Oña, R., Eboli, L. y Mazzulla, G. (2016). Socio-economic and driving experience factors affecting drivers' perceptions of traffic crash risk. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 37, 41–51.
- Mairean, C., Havârneanu, G.M., Popușoi, S.A. y Havârneanu, C.E. (2017). Traffic locus of control scale – Romanian version: psychometric properties and relations to the driver's personality, risk perception, and driving behavior. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 45, 131–146.
- Márquez, L.G., Cantillo, V.M. y Arellana, J. (2015). Mobile phone use while driving: A hybrid modeling approach. *Accident Analysis and Prevention*, 78, 73-80.
- Organización Mundial de la Salud. (2009). *Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial: es hora de pasar a la acción*. OMS, Ginebra.
- Orozco-Fontalvo, M., Arévalo-Támara, A., Guerrero-Barbosa, T., & Gutiérrez-Torres, M. (2018). Bicycle choice modeling: A study of university trips in a small Colombian city. *Journal of Transport & Health*, 9, 264-274.
- Ortúzar, J. de D. y Willumsen, L.G. (2011). *Modelling Transport* (Cuarta ed.). Chichester: John Wiley and Sons.

- Pachón, V. y Zabaleta, J. (2015). *Modelación de la Percepción del Riesgo de Accidentes en Conductores: Un Enfoque de Preferencias Declaradas*. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Ocaña.
- Perdomo, M., Rezaei, A., Patterson, Z., Saunier, N. y Miranda-Moreno, L.F. (2014). Pedestrian preferences with respect to roundabouts-a video-based stated preference survey. *Accident Analysis and Prevention*, 70, 84-91.
- Petridou, E. y Moustaki, M. (2000). Human factors in the causation of road traffic crashes. *European Journal of Epidemiology*, 16, 819–826.
- Ram, T. y Chand, K. (2016). Effect of drivers' risk perception and perception of driving tasks on road safety attitude. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 42, 162–176.
- Raveau, S., Alvarez-Daziano, R., Yáñez, M.F., Bolduc, D. y Ortúzar, J. de D. (2010). Sequential and simultaneous estimation of hybrid discrete choice models: some new findings. *Transportation Research Record*, 2156, 131–139.
- Raveau, S., Ortúzar, J. de D. y Yáñez, M.F. (2009). Simultaneous estimation of discrete choice models with latent variables. XIII Euro Working Group on Transportation. Padua, Italy.
- Rupp, M.A., Gentzler, M.D., y Smither, J.A. (2016). Driving under the influence of distraction: examining dissociations between risk perception and engagement in distracted driving. *Accident Analysis and Prevention*, 97, 220-230.
- Ulleberg, P. y Rundmo, T. (2003). Personality, attitudes and risk perception as predictors of risky driving behaviour among young drivers. *Safety Science*, 41(5), 427-443.
- Vanlaar, W. y Yannis, G. (2006). Perception of road accident causes. *Accident Analysis and Prevention*, 38(1), 155-161.
- Vieira Gomes, S. (2013). The influence of the infrastructure characteristics in urban road accidents occurrence. *Accident Analysis and Prevention*, 60, 289–297.
- Wang, B., Hensher, D.A. y Ton, T. (2002). Safety in the road environment: a driver behavioural response perspective. *Transportation*, 29(3), 253–270.
- Westlake, E.J. y Boyle, L.N. (2012). Perceptions of driver distraction among teenage drivers. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 15(6), 644-653.
- Williams, H.C.W.L. (1977). On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit. *Environment and Planning A* 9(3), 285-344.
- Yáñez, M.F., Raveau, S. y Ortúzar, J. de D. (2010). Inclusion of latent variables in mixed logit models: modelling and forecasting. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(9), 744–753.
- Yao, L. y Wu, C. (2011). Traffic safety of e-bike riders in China: safety attitudes, risk perception and aberrant riding behaviors. *Transportation Research Record*, 2314, 49–56.
- Zhao, X.G., He, X.D., Wu, J.S., Zhao, G.F., Ma, Y.F. y Zhang, M. (2009). Risk factors for urban road traffic injuries in Hangzhou, China. *Arch Orthopnea Trauma Surgery*, 129(4), 507–513.
- Zwerina, K., Huber, J. y Kuhfeld, W. (2005). *A general method for constructing efficient choice designs*. Ludwigshafen, SAS Institute.