

## ENTENDIENDO LA PERCEPCIÓN DEL RIESGO DE ACCIDENTES EN CONDUCTORES: UN ENFOQUE CON VARIABLES LATENTES

Thomas E. Guerrero  
Departamento de Ingeniería Civil  
Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña  
Vía Acolsure, Sede el Algodonal Ocaña, Norte de Santander, Colombia  
[teguerrero@ufpso.edu.co](mailto:teguerrero@ufpso.edu.co)

Sebastián Raveau y Juan de Dios Ortúzar  
Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística,  
Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS)  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Avda. Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago, Chile  
[sraveau@ing.puc.cl](mailto:sraveau@ing.puc.cl); [jos@ing.puc.cl](mailto:jos@ing.puc.cl)

*Palabras clave: variables latentes, percepción del riesgo, modelos híbridos.*

**Resumen:** Las entidades gubernamentales y no gubernamentales necesitan herramientas de decisión que les permitan 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 uno de los grandes causantes de muerte por accidentes viales, esta investigación se enfocó en identificar las variables que inciden sobre la percepción del riesgo de accidentes mientras se conduce. Un aporte significativo del estudio radica en la incorporación de percepciones subjetivas de las personas a los modelos estimados, en la forma de variables latentes. El enfoque de modelación consideró la estimación de diferentes formas funcionales de modelos Logit a partir de datos de preferencias declaradas. Los escenarios hipotéticos de conducción presentados a los encuestados fueron caracterizados por 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. Estos atributos resultaron ser altamente significativos en la percepción del riesgo en conductores, y con signos acordes a lo esperado. Las variables latentes *Concentración* y *Conducción Segura* resultaron relevantes para entender la percepción del riesgo de accidentes en conductores, relacionándose fuertemente con características socioeconómicas de los individuos (género, edad, ocupación, restricciones óptico/auditivas, y experiencia previa de accidentes). Los resultados indican que las personas con actitudes de conducción seguras no tienden a conducir bajo la influencia del alcohol/drogas. Por otro lado, conductores que no tienden a distraerse con otras actividades (ver el celular, radio, velocímetro o similares) mientras conducen, también procuran conducir a menor velocidad y a no realizar adelantamientos en curva.

### 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 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, o destrezas, que se tienen durante dicha tarea; estos pueden perfeccionarse a lo largo del tiempo y moldean la percepción del riesgo de accidentes en el conductor.

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 (Hongsrnagon *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.

Como 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), hemos visto una gran oportunidad y desafío de investigación. Los modelos HDC permiten incluir no sólo atributos tangibles sino también elementos intangibles asociados con las percepciones y actitudes de las personas a través de las VL. Este enfoque permite entender mejor el comportamiento de las personas cuando se encuentran abocadas a tareas de conducción. 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 cuando

utilizaban un teléfono móvil durante la conducción; para ello, formularon un modelo de elección que integró la VL "*percepción de riesgo*". Iversen (2004) estudió las actitudes de riesgo y comportamiento de conducción riesgoso. Se definieron tres variables latentes exógenas (*i.* actitud hacia violaciones de normas de tránsito y exceso de velocidad, *ii.* conducción descuidada de los demás, *iii.* actitud hacia beber y conducir) y una variable latente endógena (comportamiento de conducción riesgoso). Por otro lado, se estimaron modelos de ecuaciones estructurales para determinar la relación entre los rasgos de personalidad y el comportamiento de conducción riesgoso en conductores jóvenes. Los resultados indicaron que la personalidad influye principalmente en el comportamiento de conducción riesgoso indirectamente a través de afectar a los determinantes de la conducta (Ulleberg y Rundmo, 2003). Los últimos dos estudios incluyeron cuestionarios donde se indagó por indicadores de percepción y se estimaron ecuaciones estructurales; no se utilizaron instrumentos de Preferencias Declaradas ni modelos HDC, como en nuestro enfoque.

Dada esta necesidad, la presente 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 preferencias declaradas. Los escenarios hipotéticos de conducción presentados a los encuestados estaban caracterizados por cuatro atributos principales: (*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 - tienen un mejor comportamiento respecto a otras formas funcionales adecuadas para estos datos como el modelo Logit Mixto (ML) con coeficientes aleatorios (captando heterogeneidad en las percepciones). Se logró especificar dos VL, *Concentración* y *Conducción\_Segura*, que resultaron relevantes para entender la percepción del riesgo a accidentes en conductores. Estas VL se relacionan fuertemente con las características socioeconómicas de los individuos (género, edad, ocupación, restricciones óptico/auditivas, 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 variables latentes. 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 discuten los mejores modelos estimados, así como un detallado análisis a partir de los mismos. 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 marketing (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 esta

investigación, el enfoque tiene una aplicación importante en la determinación de las percepciones individuales cuando están sometidos a maniobras de conducción.

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

$$\eta_{ilq} = \sum_r \alpha_{ilr} * S_{iqr} + v_{ilq}$$

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

donde  $\alpha_{ilr}$  y  $\gamma_{ilp}$  son parámetros por estimar, mientras que  $v_{ilq}$  y  $\xi_{ipq}$  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

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 ( $\eta_{ilq}$ ) se representa así:

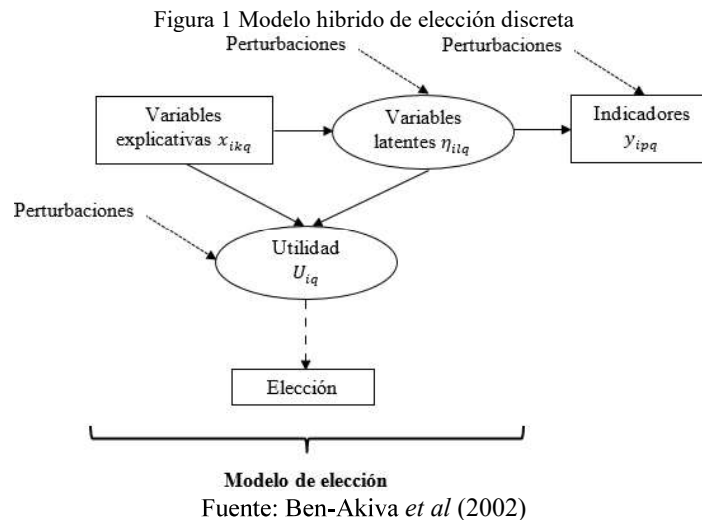
$$V_{iq} = \sum_k \theta_{iq} * x_{ikq} + \sum_l \beta_{il} * \eta_{ilq}$$

en que  $\theta_{iq}$  y  $\beta_{il}$  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 preferencias declaradas); mientras que las  $\eta_{ilq}$  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).

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

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

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 explicativas 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 variables latentes con la  $U_{iq}$  (Ben-Akiva *et al*, 2002).



### 3. Datos

Los datos se obtuvieron a partir de la aplicación de encuestas 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. Posee un área urbana de 7 km<sup>2</sup> y una población de 93.650 habitantes (Dirección Nacional de Planeación, 2010). 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.

#### 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 el cual se confrontaba a los encuestados con dos escenarios hipotéticos de conducción y se les solicitaba

elegir uno de ellos. Los experimentos de PD son una buena herramienta para recolectar información sobre situaciones hipotéticas y ha sido utilizada en varias investigaciones previas (Louviere *et al*, 2000; Wang *et al*, 2002; Rizzi y Ortúzar, 2006; Machado *et al*, 2016; Perdomo *et al*, 2014).

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 instrumentó 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 optimas? (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 presenta un cuestionario de PD, cuyo diseño contenía 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) se variaron 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 2).

Figura 2 Modelo típico de presentación de escenarios hipotéticos de conducción

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

Los atributos y niveles que caracterizaban a las situaciones 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 poder realizar la encuesta era haber conducido automóvil. El muestreo fue totalmente aleatorio.

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 una de las variables, así como la distribución dentro de ellas se pueden ver en la Tabla 2. Esta muestra corresponde a la reportada por Pachón y Zabaleta (2015).

Tabla 2 Caracterización de algunas de las variables en la muestra

Variable	Identificación en el modelo	Descripción	Porcentaje
Género	gen	Masculino	65%
		Femenino	35%
Edad	ed1	18-25 años	29%
	ed2	26-35 años	32%
	ed3	36-45 años	18%
		> 45 años	22%
Ocupación principal	oc1	Estudiante	23%
	oc2	Empleado	66%
	oc3	Desempleado	1%
		Otro	10%
Restricciones y/o incapacidades	rt1	Óptica	27%
	rt2	Auditiva	2%
	rt3	Óptica-Auditiva	1%
		Ninguna	70%
¿Ha estado involucrado en un accidente?	acc	Si	39%
		No	61%

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 30% de la muestra declaró tener algún tipo de incapacidad (óptica, auditiva o ambas). En Colombia, este tipo de restricciones no es inhabilitante para conducir, sin embargo, se encuentra claramente referenciada en la licencia de conducción. El 39% de las personas declararon 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.

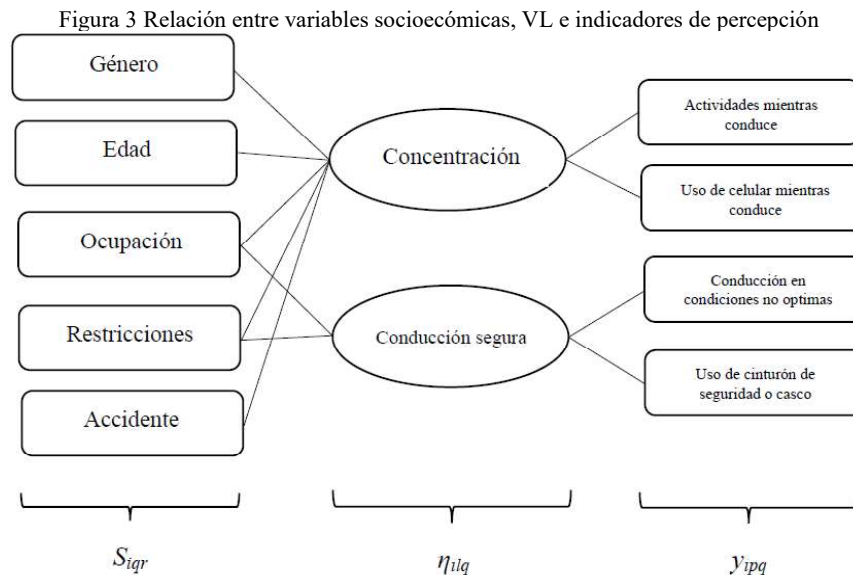
#### 4. Estimación y análisis de modelos

A continuación, se presenta la estructura del modelo de VL, así como la estructura de los mejores modelos de elección. Los modelos presentados en esta sección fueron estimados 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 consideraron dos VL: *Concentración* y *Conducción\_Segura*. Estas se explicaron a partir de diferentes variables socioeconómicas recolectadas durante la encuesta; a este modelo se le conoce como ecuación estructural. Los cuatro indicadores preguntados en el instrumento se explican a partir de las dos VL consideradas y se conoce como ecuación de medición.

La VL *Concentración* se explicó a partir de variables socioeconómicas como género, edad, ocupación principal, restricciones y experiencias previas de accidentes; mientras que la VL *Conducción\_Segura* se explicó a partir de características como la ocupación principal y restricciones. Para incluir estas variables dentro de la estimación, se convirtieron en variables *dummy*. Las relaciones existentes entre las variables socioeconómicas, VL e indicadores de percepción se muestra en la Figura 3.



##### 4.2. Estructura del modelo de elección discreta

El procedimiento utilizado correspondió a la estimación de modelos de forma progresiva partiendo de modelos sencillos (según la 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.



Se estimó un logit mixto (ML) con coeficientes aleatorios (Ortúzar y Willumsen, 2011). 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. El modelo ML incorporó heterogeneidad en las percepciones dentro de su estructura a través de la variable velocidad de conducción (*vel*).

### 4.3. Resultados

Los modelos MNL y ML se presentan en la Tabla 3, donde se puede observar los parámetros estimados para las variables explicativas e interacción de efectos de las variables explicativas y las VL; en la Tabla 4 se presenta la ecuación estructural, mientras que en la Tabla 5 se muestra la ecuación de medición. El modelo ML planteado es función de las variables explicativas e interacciones entre estas y variables socioeconómicas; la variable velocidad de conducción tiene asociado un parámetro aleatorio. Para ambos modelos se referencia la cantidad de observaciones utilizadas en la estimación, así como la log-verosimilitud de convergencia ( $L(\theta)$ ) y la índice rho cuadrado ( $\rho^2$ ). Para cada uno de los coeficientes estimados se presenta su correspondiente *t-test*, a partir del cual se puede comprobar su significancia estadística.

Tabla 3 Modelos de elección estimados

Variable	Descripción	MNL		ML	
		Valor	<i>t-test</i>	Valor	<i>t-test</i>
<b>VARIABLES EXPLICATIVAS</b>					
$\theta_{avc}$	Adelantamiento en curva	0.652	3.97	1.47	3.95
$\theta_{ccv}$	Conducir en contravía	0.94	8.58	1.37	5.35
$\theta_{cad}$	Conducir bajo efectos de alcohol y/o drogas	1.99	20.62	3.11	5.96
$\theta_{vel}$	Velocidad de conducción	0.0138	5.15	0.00947	1.71
$\theta_{avc*Concentración}$	Interacción adelantamiento en curva y <i>Concentración</i>	0.236	3.09		
$\theta_{cad*Conducción\_Segura}$	Interacción conducir bajo efecto alcohol/drogas y <i>Conducción_Segura</i>	0.312	4.01		
$\theta_{vel*Concentración}$	Interacción velocidad de conducción y <i>Concentración</i>	0.00233	1.76		
$\theta_{vel*gen}$	Interacción velocidad de conducción y género			0.015	2.07
$\theta_{avc*edad3}$	Interacción adelantamiento en curva y edad3			1.43	2.73
$\sigma_{vel}$	Desviación estándar de la variable velocidad de conducción			0.0604	3.30
<b>Reporte general</b>					
N	Cantidad de observaciones	1600		1600	
$L(\theta)$	Log-verosimilitud	-610.415		-608.811	
$\rho^2$	Índice rho cuadrado	0.450		0.451	

Respecto al modelo MNL 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 esperado acorde a la teoría econométrica. El signo positivo del atributo  $\theta_{vel}$  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  $\theta_{ccv}$ ,  $\theta_{avc}$  y  $\theta_{cad}$ , 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.

Para todos los modelos estimados, el atributo que genera una mayor percepción de peligrosidad entre los individuos es el asociado a conducción bajo efecto de alcohol y/o drogas, pues tiene la mayor magnitud y presenta el *t-test* más alto. Mediante la estimación de interacciones fue posible integrar las VL al modelo de elección. Se estimaron dos interacciones con la VL *Concertación* y una con la VL *Conducción\_Segura*. La estimación de la interacción  $\theta_{cad*Conducción\_Segura}$  indica que las personas con actitudes de conducción segura tienden a no conducir bajo la influencia de alcohol/drogas. Por otro lado, el signo positivo de los parámetros  $\theta_{vel*Concertación}$  y  $\theta_{avc*Concertación}$  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. Las interacciones  $\theta_{cad*Conducción\_Segura}$  y  $\theta_{avc*Concertación}$  fueron significativas para un nivel de confianza del 95%, mientras que  $\theta_{vel*Concertación}$  resultó serlo, pero para un nivel de confianza del 90%.

El modelo ML presenta un buen comportamiento. Los signos de las variables explicativas principales son todas significativas para un nivel de confianza del 95% (a excepción del parámetro asociado a la velocidad, pero es significativo para un nivel de confianza del 90%) y presentan signos consistentes con la teoría microeconómica. Al igual que lo evidenciado en el modelo MNL, el modelo ML reproduce de forma adecuada la percepción al riesgo de los individuos, de manera que las personas sienten un mayor riesgo a accidentes cuando la velocidad de conducción aumenta; idéntico efecto sucede con las demás variables, de manera 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. La significación del parámetro asociado a la desviación estándar de la velocidad de conducción ( $\sigma_{vel}$ ) implica que los efectos de la velocidad sobre el proceso de percepción del riesgo cuando los individuos conducen efectivamente varían de forma significativa entre las personas. La estimación de parámetros asociados a las interacciones entre efectos se logra en el modelo. Las interacciones probadas corresponden a las variables  $\theta_{vel*gen}$  y  $\theta_{avc*edad3}$ . Los resultados de las estimaciones muestran que la velocidad produce una mayor sensación de riesgo en los hombres que en las mujeres; por otro lado, el modelo arroja que las maniobras de adelanto en curva son más riesgosas para individuos que oscilan en edades entre 36-45 años. Para ambas interacciones se destaca la significancia estadística de los parámetros.

Ninguno de los dos modelos presentados (MNL y ML) es comparable entre sí a través del test de razón de verosimilitud (LR), dado que ninguno es versión restringida de otro. Esto no permite determinar plenamente cual es mejor entre los tres. El ML es mostrado tratando de evidenciar una estimación progresiva en cuanto a la complejidad de la estimación y consumo computacional.

Tabla 4 Ecuación estructural

Variable	Descripción	Valor	t-test
$\alpha_{gen}$	Variable muda gen	1.64	4.28
$\alpha_{ed1}$	Variable muda ed1	-1.44	-4.32
$\alpha_{ed2}$	Variable muda ed2	-0.627	-2.10
$\alpha_{ed3}$	Variable muda ed3	1.85	4.62
$\alpha_{oc1}$	Variable muda oc1	0.875	185.72
$\alpha_{oc2}$	Variable muda oc2	0.213	51.51
$\alpha_{oc3}$	Variable muda oc3	-0.44	-38.22
$\alpha_{rt1}$	Variable muda rt1	-0.441	-165.78
$\alpha_{rt2}$	Variable muda rt2	1.32	162.45
$\alpha_{rt3}$	Variable muda rt3	0.592	53.97
$\alpha_{acc}$	Variable muda acc	0.733	3.00

La ecuación estructural muestra significancia para un nivel de confianza del 95% en todas las variables estimadas; de hecho, es de resaltar la alta relevancia dentro del modelo que tienen tanto las características socioeconómicas como las restricciones físicas y 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. Personas que se encuentran desempleadas y que tienen restricciones visuales, tienden a desconcentrarse más fácil y a tener hábitos inseguros de conducción. Personas que han estado involucradas en accidentes tienen tendencia a estar más concentrados mientras conducen con respecto a aquellas personas que no han experimentado dicha situación, resultado que a priori era esperado.

Tabla 5 Ecuación de medición

Variable	Descripción	Valor	t-test
CTEI <sub>1</sub>	Constante del indicador 1	2.01	45.34
CTEI <sub>2</sub>	Constante del indicador 2	2.74	90.84
CTEI <sub>3</sub>	Constante del indicador 3	2.74	219.63
CTEI <sub>4</sub>	Constante del indicador 4	2.56	807.17
$\gamma_{Concentración,y1}$	VL <i>Concentración</i> que explica el indicador 1	-0.111	-7.34
$\gamma_{Concentración,y2}$	VL <i>Concentración</i> que explica el indicador 2	-0.097	-6.2
$\gamma_{Conducción_Segura,y3}$	VL <i>Conducción_Segura</i> que explica el indicador 3	-0.0467	-4.08
$\gamma_{Conducción_Segura,y4}$	VL <i>Conducción_Segura</i> que explica el indicador 4	-0.803	-899.43
$\xi_1$	Término de error asociado al indicador 1	0.814	55.18
$\xi_2$	Término de error asociado al indicador 2	0.503	54.87
$\xi_3$	Término de error asociado al indicador 3	0.487	56.57
$\xi_4$	Término de error asociado al indicador 4	0.0348	52.52

## 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. Igualmente, mediante la estimación de modelos logit mixto, se evidenciaron variaciones de las variables principales de forma significativa entre las personas durante tareas de conducción sobre el proceso de percepción del riesgo de accidentes.

Considerándose que el factor humano es uno de los mayores causantes de accidentes de tránsito, esta investigación contribuye en identificar que 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 estas cuatro variables principales estudiadas, la de mayor incidencia en la percepción del riesgo asociado a accidentes resultó ser la conducción bajo efectos de alcohol y/o drogas (en los tres modelos estimados), mientras que la de menor incidencia - pero igualmente significativa - fue la velocidad de conducción y adelantamiento en curva (en caso del modelo ML y MNL, respectivamente). Las variables arrojaron los signos esperados y su comportamiento es acorde a la teoría econométrica. Se determinó que la VL *Concentración* era explicada a partir de características socioeconómicas de los individuos como género, edad, ocupación, restricciones físicas y experiencia previa en accidentes, mientras que la VL *Conducción\_Segura* se explicó en función de la ocupación y las restricciones físicas. Las interacciones entre las VL y las variables principales permitieron explicar la percepción del riesgo de accidentes en conductores; en particular, se encontró que las 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 a no realizar adelantamientos en curva.

El modelo ML arrojó resultados coherentes y esperados respecto a su estimación. De este se puede resaltar la evidencia obtenida sobre como la velocidad de conducción es percibida de forma diferente entre los conductores. Esto notablemente es interesante y puede convertirse en una extensión del trabajo, pues muchos países presentan altos índices de accidentes los cuales se asocian a los excesos de velocidades (Mairean *et al*, 2017). También se pudo determinar que la velocidad produce una mayor sensación de riesgo en los hombres y que las maniobras de adelanto en curva son más riesgosas para individuos que oscilan en edades entre 36-45 años.

Aunque a la luz de los resultados – basados solamente en la  $L(\theta)$  – el modelo ML tiene una leve mejor convergencia que el modelo MNL, este último representa mejor la percepción del riesgo de accidentes en conductores pues incorpora variables que definen el comportamiento del conductor a través de las dos VL estimadas.

Dado que variables como la velocidad de conducción, conducir en contravía, adelantar a un vehículo en curva y conducir bajo efectos de alcohol y/o drogas son percibidas como riesgosas y propensas a accidentes mientras se conduce, esta investigación entrega directrices claras a las autoridades para saber hacia donde y sobre quienes deben enfocar sus esfuerzos y políticas de prevención de accidentes. Perfiles de personas jóvenes, de género femenino, desempleadas y con restricciones físicas, aparentemente requerirían generar cierto grado de cultura vial mayor al momento de conducir.

Futuras investigaciones pueden contemplar incluir el efecto de la conducción según el 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), partiendo de la hipótesis que ambos tipos de conductores se comportan diferente y 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. 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. & Yuan, S. (2002). Extending discrete choice models to incorporate attitudinal and other latent variables. *Journal of Marketing Research*, **39**, 31–46.
- Atchley, P., Shi, J. & 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. & Ortúzar, J. de D. (2014). Is sequential estimation a suitable second best for estimation of hybrid choice models? *Transportation Research Record*, **2429**, 51–58.
- Bamberg, S., Ajzen, I. & Schmidt, P. (2003). Choice of travel mode in the theory of planned behavior: the roles of past behavior, habit, and reasoned action. *Basic Applied Social Psychology*, **25**, 175–187.
- Ben-Akiva, M.E., Walker, J.L., Bernardino, A.T., Gopinath, D.A., Morikawa, T. & 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, Switzerland.
- Bolduc, D. & Alvarez-Daziano, R. (2009). On estimation of hybrid choice models. En S. Hess & A. Daly, *Choice Modelling: The State-of-the-Art and the State-of-Practice*. Bingley, UK: Emerald Group Publishing Limited.
- Bone, S.A. & Mowen, J.C. (2006). Identifying the traits of aggressive and distracted drivers: a hierarchical trait model approach. *Journal of Consumer Behaviour*, **5**, 454–464.
- Caliendo, C., Guida, M. & Parisi, A. (2007). A crash-prediction model for multilane roads. *Accident Analysis and Prevention*, **39**, 657–670.
- Chia-Jung, C. & Pei-Chun, C. (2014). Preferences and willingness to pay for green hotel attributes in tourist choice behaviour: the case of Taiwan. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, **31**, 937–957.

- Christ, R., Delhomme, P., Kaba, A., Mäkinen, T.S., Sagberg, F., Schulze, H. & Siegrist, S. (1999). *GADGET. Guarding Automobile Drivers through Guidance Education and Technology. Final report*. Vienna: Kuratorium für Verkehrssicherheit (KfV).
- Danaf, M., Abou-Zeid, M. & Kaysi, I. (2015). Modeling anger and aggressive driving behavior in a dynamic choice-latent variable model. *Accident Analysis and Prevention*, **75**, 105-118.
- 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. & Bonetti, D. (2004). *Constructing questionnaire based on the theory of planned behavior*. UK: Centre for Health Services Research.
- Hassen, A., Godesso, A., Abebe, L. & Girma, E. (2011). Risky driving behaviors for road traffic accident among drivers in Mekele city, Northern Ethiopia. *BioMed Central Research Notes*, **4**, 535.
- Hess, S. & 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**, 109-131.
- Homel, R. (1988). *Policing and Punishing the Drinking Driver. A Study of General and Specific Deterrence*. New York: Springer-Verlag.
- Hongsranagon, P., Khompratya, T. & Hongpukdee, S. (2011). Traffic risk behavior and perceptions of Thai motorcyclists: a case study. *IATSS Research*, **35**, 30-33.
- Humlum, M.K., Kleinjans, K.J. & Nielsen, H.S. (2012). An economic analysis of identity and career choice. *Economic Inquiry*, **50**, 39-61.
- Hurtubia, R. & Bierlaire, M. (2014). Estimation of bid functions for location choice and price modelling with a latent variable approach. *Networks and Spatial Economics*, **14**, 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*, **7**, 135-150.
- Joreskog, K. & Goldberger, A. (1975). Estimation of a model with multiple indicators and multiple causes of a single latent variable. *Journal of American Statistical Association*, **70**, 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., USA.
- Krueger, R. & Casey, M.A. (2009). *Focus Groups: A Practical Guide for Applied Research* (Cuarta ed.). Beverly Hills: California: SAGE Publications, Inc.
- Louviere, J.J., Hensher, D.A. & 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. & Schillewaert, N. (2010). Resistance to brand switching when a radically new brand is introduced: a social identity theory perspective. *Journal of Marketing*, **74**, 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. & Ratchford, B.T. (2008). Incorporating subjective characteristics in product design and evaluations. *Journal of Marketing Research*, **45**, 182-194.

- Machado, J.L., de Oña, J., de Oña, R., Eboli, L. & 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., Popuşoi, S.A. & 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. & 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*. Ginebra.
- Ortúzar, J. de D. & Willumsen, L.G. (2011). *Modelling Transport* (Cuarta ed.). Chichester: John Wiley and Sons.
- Pachón, V. & 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 Puala Santander Ocaña, Ocaña.
- Perdomo, M., Rezaei, A., Patterson, Z., Saunier, N. & 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. & Moustaki, M. (2000). Human factors in the causation of road traffic crashes. *European Journal of Epidemiology*, **16**, 819–826.
- Ram, T. & 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. & 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. & Yáñez, M.F. (2009). Simultaneous estimation of discrete choice models with latent variables. *XIII Euro Working Group on Transportation*. Padua, Italy.
- Rizzi, L. & Ortúzar, J. de D. (2006). Road safety valuation under a stated choice framework. *Journal of Transport Economics and Policy*, **40**, 69-94.
- Ulleberg, P. & Rundmo, T. (2003). Personality, attitudes and risk perception as predictors of risky driving behaviour among young drivers. *Safety Science*, **41**, 427-443.
- Vanlaar, W. & Yannis, G. (2006). Perception of road accident causes. *Accident Analysis and Prevention*, **38**, 155-161.
- Vieira Gomes, S. (2013). The influence of the infrastructure characteristics in urban road accidents occurrence. *Accident Analysis & Prevention*, **60**, 289–297.
- Wang, B., Hensher, D.A. & Ton, T. (2002). Safety in the road environment: a driver behavioural response perspective. *Transportation*, **29**, 253–270.
- Yáñez, M.F., Raveau, S. & Ortúzar, J. de D. (2010). Inclusion of latent variables in mixed logit models: modelling and forecasting. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **44**, 744–753.
- Yao, L. & Wu, C. (2011). Traffic safety of e-bike riders in china: safety attitudes, risk perception and aberrant riding behaviors. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, **2314**, 49–56.

- Zhao, X. G., He, X. D., Wu, J. S., Zhao, G. F., Ma, Y. F., & Zhang, M. (2009). Risk factors for urban road traffic injuries in Hangzhou, China. *Arch Orthopnea Trauma Surgery*, **129**, 507–513.
- Zwerina, K., Huber, J., & Kuhfeld, W. (2005). *A General Method for Constructing Efficient Choice Designs*. Ludwigshafen (Germany): SAS Institute.