

# ESTIMACIÓN DEL VALOR ESTADÍSTICO DE LA VIDA ASOCIADO A LA SEGURIDAD VIAL EN BOGOTÁ\*

Luis Gabriel Márquez Díaz\*\*; Howard Waldo Avella Arévalo\*\*\*

Recibido: 16/08/2011

Aceptado: 28/09/2012

## RESUMEN

Se presentan los resultados de la investigación “Valoración estadística de la vida para el análisis del impacto de la accidentalidad”, fundamentada en un experimento de elección, mediante encuestas de preferencias declaradas, para estimar la disposición a pagar por reducir el riesgo de muerte en el contexto del servicio de transporte público colectivo en Bogotá. El experimento estudia la elección entre el servicio de transporte convencional y un nuevo sistema más seguro, a partir de la comparación de los atributos: tarifa, tiempo de viaje y probabilidad de muerte. Los datos recopilados se ajustan a un modelo Probit Binario que incluye el ingreso y nivel educativo de los individuos. Se encontró que el valor estadístico de la vida en este contexto es de 128 millones de pesos, el cual resulta significativamente inferior a valores internacionales trasladados a la renta colombiana, así que se abre el debate sobre el tema en el ámbito nacional.

**Palabras clave:** valor estadístico de la vida, modelos de elección discreta, preferencias declaradas.

---

\* Este artículo se deriva del proyecto de investigación denominado “Valoración estadística de la vida para el análisis del impacto de la accidentalidad”, código SGI-927, financiado por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia.

\*\* Ingeniero en Transporte y Vías, M. Sc. Ingeniería con énfasis en Transporte. Docente del programa de Ingeniería en Transporte y Vías de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Investigador del Grupo de Investigación y Desarrollo en Planeación y Operación del Transporte GIDPOT. Dirección: Carretera Central del Norte, Edificio de Ingeniería, UPTC, Tunja. Teléfono: 3166276714. Correo electrónico: luis.marquez@uptc.edu.co.

\*\*\* Ingeniero en Transporte y Vías. Auxiliar de Investigación. Grupo de Investigación y Desarrollo en Planeación y Operación del Transporte GIDPOT.

## ESTIMATION OF STATISTICAL VALUE OF LIFE ON ROAD SAFETY IN BOGOTÁ

### **Abstract**

Results of a research entitled “Statistical Assessment of Life for Analyzing Impact of Accident Rates” are shown in this article; the research is based on an experiment of choice conducted through stated preference surveys with the purpose of estimating the will to pay for having risk of death decreased in a scenario of public transportation in Bogotá. The experiment assessed the choice between conventional transportation service and a new safer system by comparing several characteristics: rate, trip time, and death probability. Data collected are consistent to a Binary Probit model which includes income and educational level of the individuals. It was found that the statistical value of life in this context is 128 million Colombian pesos, which is a significantly lower price when compared to international values. The debate about this topic at a domestic level is then opened.

**Key words:** statistical value of life; discrete choice models; stated preferences.

## INTRODUCCIÓN

Las externalidades del transporte, especialmente en el contexto de los países desarrollados, son preponderantes en la evaluación económica de proyectos de transporte. Los gobiernos y la sociedad, cada vez más conscientes de las externalidades del transporte, procuran que sean compensadas por quienes las producen, lo que implica que dichos impactos deban ser valorados; como esos impactos no tienen precios de mercado, se pueden usar métodos de valoración microeconómica para su correcta estimación.

La investigación que se reporta tiene por objetivo estimar el valor estadístico de la vida (VEV), que es una medida actualmente estandarizada en el mundo, y se usa como herramienta para cuantificar las externalidades generadas por la accidentalidad en proyectos de transporte, aunque también tiene aplicación en otros campos que no son objeto del presente trabajo.

Se han empleado diferentes métodos de valoración que permiten calcular el VEV; los más aplicados pero menos recomendables son el enfoque de capital humano y el análisis costo-beneficio. Otros métodos, con mejores resultados, han sido usados en varios países: técnicas de valoración contingente en India [1] y Suecia [2], estimación por salarios hedónicos en España [3] y la aplicación de experimentos de elección en países latinoamericanos como Chile [4] y Argentina [5], entre muchos otros casos reportados en la literatura.

Los modelos de elección discreta son una herramienta de amplio uso en los estudios de mercado y han tenido especial acogida en el campo del transporte para modelar la demanda, con ventaja sobre otros métodos alternativos porque las valoraciones se extraen de supuestos en un contexto más real [4], como por ejemplo la elección de un determinado modo o sistema de transporte.

En Colombia, los estudios realizados hasta el momento no han integrado adecuadamente el impacto de la accidentalidad en la evaluación

económica de proyectos de transporte, y tampoco han considerado los beneficios que se pueden obtener por una reducción en este impacto [6]. Algunos estudios realizados en Colombia han utilizado la metodología del análisis costo-beneficio [7], y aunque aportan valores que pueden servir de referencia, su aplicación no se considera apropiada desde el punto de vista del análisis económico de proyectos de transporte.

Dado que no se tienen datos referenciales para nuestro país, se realiza este estudio con el fin de estimar el VEV para Bogotá, aplicando técnicas de preferencias declaradas que aportan información para calibrar diversas clases de modelos de elección discreta, cuyos parámetros permiten cuantificar la disposición a pagar (DAP) de los individuos por reducir el riesgo de morir en un accidente de tránsito.

Se espera que los resultados obtenidos con esta investigación faciliten una correcta estimación de los costos externos de la accidentalidad de tránsito en el país, al valorar las pérdidas de bienestar causadas por el riesgo de morir en accidentes de tránsito y, así, cuantificar los efectos que sobre la accidentalidad vial produce la implementación de proyectos de transporte.

## 1. METODOLOGÍA

Para cumplir el objetivo de estimar el VEV en el ámbito del servicio de transporte público colectivo de Bogotá, se aplicó una encuesta de preferencias declaradas; con base en ella se estimaron diversas clases de modelos de elección discreta, y con el de mejor ajuste, se estimó la DAP por reducir el riesgo de muerte en un accidente de tránsito.

### 1.1 Los modelos de elección discreta

Para la modelación de la demanda de transporte se ha desarrollado un conjunto de modelos econométricos que intentan explicar el comportamiento de los individuos en situaciones de elección de viaje. Estos modelos son de gran provecho para los estudios de transporte, ya que brindan la posi-

bilidad de hacer valoraciones de atributos que no tienen precios de mercado, encontrar elasticidades y estudiar comportamientos individuales que apoyan la toma de decisiones en la planificación y diseño de sistemas de transporte.

Los modelos de elección discreta se basan en la teoría de la maximización de la utilidad aleatoria partiendo del principio de un individuo racional que opta por la alternativa que le brinda mayor utilidad. Un individuo  $n$  escogerá la alternativa  $i$  si y solo si

$$U_{ni} > U_{nj} \quad \forall j \neq i \quad (1)$$

Donde  $U_{nj}$  es la utilidad que le reporta al individuo la alternativa  $j$  y es conocida por el que realiza la elección. Dado que el analista no conoce la totalidad de variables que pueden influir en la decisión solo será capaz de determinar una parte de la utilidad, denominada  $V_{nj}$ , y la parte desconocida la tratará como un error aleatorio de media cero denominado  $\varepsilon_{nj}$ .

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj} \quad (2)$$

La utilidad determinística  $V_{nj}$  es función de una serie de atributos observados  $x_{knj}$  que pueden ser medidos y unos parámetros constantes que deben ser calibrados.

$$V_{nj} = \sum_{k=1}^k \beta_{kj} x_{knj} \quad (3)$$

Para calibrar los parámetros se emplea el criterio de máxima verosimilitud de la muestra utilizada a través de la siguiente expresión:

$$\mathcal{L}(\beta) = \prod_{n=1}^N \prod_i (P_{ni})^{y_{ni}} \quad (4)$$

Donde  $y_{ni}$  es igual a 1 si el individuo  $n$  elige la alternativa  $i$  y 0 en otro caso. Para obtener una maximización numérica se utiliza el logaritmo neperiano de la verosimilitud, es decir, la log-verosimilitud, así:

$$LL(\beta) = \sum_{n=1}^N \sum_i y_{ni} \ln(P_{ni}) \quad (5)$$

### Modelo Logit Multinomial (MNL)

Es el modelo más utilizado y la base de otros modelos más complejos; usa la distribución Gumbel para la utilidad no observada  $\varepsilon_{nj}$  y su expresión típica, para la obtención de probabilidades se conoce como:

$$P_{ni} = \frac{e^{V_{ni}}}{\sum_j e^{V_{nj}}} \quad (6)$$

Donde  $P_{ni}$  es la probabilidad de que el individuo  $n$  elija la alternativa  $i$ .

El modelo no admite correlación entre las observaciones, limitante que debe tomarse en cuenta para el correcto diseño del experimento y la encuesta.

### Modelo Probit Binario (BP)

Este tipo de modelos permite simular mejor el comportamiento humano que el MNL ya que incluye correlaciones, heterocedasticidades, y variaciones en los gustos. El término de error sigue una distribución normal, lo que en determinadas situaciones puede conducir a predicciones erróneas. La expresión para la obtención de probabilidades se puede escribir como:

$$P_1(\theta, Z) = \Phi[(V_1 - V_2) / \sigma_c] \quad (7)$$

Donde  $\Phi[x]$  es la distribución normal acumulada,  $V_1$  y  $V_2$  las utilidades representativas de cada opción. Como los parámetros  $\theta$  no pueden ser estimados separadamente de las desviaciones estándar  $\sigma_c$ , la ecuación (7) no es directamente estimable por lo cual es necesario normalizar antes de obtener los parámetros del modelo, esto significa fijar al menos uno de los términos  $\sigma_c$  en un valor constante.

### Modelo Logit Mixto (ML)

Se formuló originalmente como modelo hedónico o Logit con parámetros aleatorios [8]; su forma actual proviene de dos investigaciones paralelas [9, 10] y varios autores han resumido sus principios básicos y ecuaciones [8]. La función de utilidad de la opción  $A_j$  para el individuo  $q$  en la situación  $t$  viene dada por:

$$U_{jqt} = \theta_q X_{jqt} + \varepsilon_{jqt} \tag{8}$$

Donde  $X_{jqt}$  es un vector de variables observadas, mientras  $\theta_q$  es un vector de coeficientes desconocidos que varían aleatoriamente según los gustos del individuo y  $\varepsilon_{jqt}$  es un término de error aleatorio que distribuye en forma Gumbel independientemente de  $\theta_q$  y de  $X_{jqt}$ . La expresión (8) es idéntica a la del MNL, salvo que los coeficientes  $\theta_q$  no son fijos sino que varían en la población. El vector de coeficientes  $\theta_q$  para cada individuo se puede expresar como la suma de su media poblacional  $\theta$  y desviaciones individuales  $\eta_q$  que representan los gustos individuales con respecto a los gustos promedio de la población obteniendo:

$$U_{jqt} = \theta \cdot X_{jqt} + \eta_q X_{jqt} + \varepsilon_{jqt} \tag{9}$$

Si los valores de  $\theta_q$  son conocidos, el modelo colapsa al MNL ya que los  $\varepsilon_{jqt}$  distribuyen Gumbel. Si se acepta que los gustos varían en la población con función de densidad  $f(\cdot)$ , donde  $\cdot$  representa la media y la desviación estándar de los gustos de la población, entonces la probabilidad de elección del modelo ML viene dada por la integral de la probabilidad de elección de MNL (para un valor dado del parámetro  $\theta$ ) ponderada por la función densidad de los parámetros  $\theta$ , así:

$$P_{jqt}(\tau) = \int \frac{e^{\theta_{jqt} X_{jqt}}}{\sum_{A_j \in A(q)} e^{\theta_{jqt} X_{jqt}}} f(\theta / \tau) d\theta \tag{10}$$

### 1.2 Diseño experimental

El estudio se basó en un experimento de elección con 2 alternativas, para realizar un viaje

urbano hipotético en el servicio público de transporte colectivo de la ciudad de Bogotá. La primera alternativa fue la opción de tomar el transporte público convencional, y la segunda, optar por un nuevo sistema de transporte hipotéticamente diseñado para disminuir la probabilidad del riesgo de morir en un accidente de tránsito. Los atributos considerados son los típicos en este tipo de estudios: la tarifa de transporte, el tiempo de viaje y las cifras de muertes en accidentes de tránsito para cada alternativa. Los valores de referencia para el diseño del experimento surgieron de las cuantías promedio para cada atributo: la tarifa partió de un promedio de \$1.350 correspondiente a la tarifa del transporte colectivo en Bogotá, los tiempos de viaje se ubicaron alrededor de 30 min, mientras que las cifras de muertos en accidentes de tránsito para la alternativa de transporte convencional se tomaron de las estadísticas nacionales [11]; los niveles de cada atributo son presentados en la tabla 1.

**Tabla 1.** Variables y niveles considerados en el experimento

| Atributos                             | Niveles | Alternativas de transporte |                     |
|---------------------------------------|---------|----------------------------|---------------------|
|                                       |         | Convencional               | Servicio más seguro |
| Tarifa de transporte (\$)             | 0       | 1,250                      | 1,400               |
|                                       | 1       | 1,350                      | 1,800               |
|                                       | 2       | 1,450                      | 2,100               |
| Tiempo de viaje (min)                 | 0       | 10                         | 7                   |
|                                       | 1       | 30                         | 20                  |
|                                       | 2       | 40                         | 30                  |
| Muertos por cada millón de habitantes | 0       | 2                          | 1                   |
|                                       | 1       | 6                          | 4                   |
|                                       | 2       | 8                          | 5                   |

Fuente: elaboración propia

Las reducciones en las cifras de muertos para el nuevo sistema de transporte fueron planteadas cuidadosamente para garantizar un rango de valores para el VEV de diseño entre 50 y 650 millones de pesos, que se considera razonable para el caso

colombiano, ya que la conversión de los valores obtenidos en otros estudios a la renta de nuestro país produjo valores máximos entre 560 [12] y 590 millones de pesos [4].

El diseño se planteó de la forma más sencilla posible para facilitar el proceso de elección por parte de los individuos encuestados. Cada alternativa se representó mediante 3 atributos, y cada atributo con 3 niveles de variación, para un diseño experimental  $3^3$  cuya combinación produce 27 tratamientos distintos. El diseño factorial ortogonal de efectos principales, obtenido con base en las recomendaciones de Koçur [13], redujo los tratamientos a 9, lo cual es apropiado para la encuesta a realizar (ver tabla 2).

**Tabla 2.** Diseño factorial ortogonal de efectos principales

| Costo | Tiempo | Muertes |
|-------|--------|---------|
| 0     | 0      | 0       |
| 0     | 1      | 2       |
| 0     | 2      | 1       |
| 1     | 0      | 1       |
| 1     | 1      | 0       |
| 1     | 2      | 2       |
| 2     | 0      | 2       |
| 2     | 1      | 1       |

Fuente: presentación propia del autor a partir de tablas de Koçur

Este diseño de partida para la primera alternativa fue chequeado y se comprobó su ortogonalidad; para el diseño de la segunda alternativa fue necesario verificar la eficiencia estadística del experimento atendiendo a los criterios de ortogonalidad, balance de niveles, traslape mínimo y balance de utilidades que garantizan un mínimo de D-error en modelos lineales [14, 15]. También se revisó la ortogonalidad del diseño en las diferencias y se comprobó la optimalidad y validez estadística del experimento [16]; el diseño definitivo del experimento se presenta en la tabla 3.

**Tabla 3.** Diseño del experimento para calcular el VEV

| Transporte convencional |              |                 | Nuevo sistema más seguro |              |                 |
|-------------------------|--------------|-----------------|--------------------------|--------------|-----------------|
| Tarifa (\$)             | Tiempo (min) | Muertes (1/106) | Tarifa (\$)              | Tiempo (min) | Muertes (1/106) |
| 1,250                   | 10           | 2               | 1,400                    | 7            | 1               |
| 1,250                   | 30           | 8               | 1,400                    | 20           | 5               |
| 1,250                   | 40           | 6               | 1,400                    | 30           | 4               |
| 1,350                   | 10           | 6               | 1,800                    | 7            | 4               |
| 1,350                   | 30           | 2               | 1,800                    | 20           | 1               |
| 1,350                   | 40           | 8               | 1,800                    | 30           | 5               |
| 1,450                   | 10           | 8               | 2,100                    | 7            | 5               |
| 1,450                   | 30           | 6               | 2,100                    | 20           | 4               |
| 1,450                   | 40           | 2               | 2,100                    | 30           | 1               |

Fuente: elaboración propia

### 1.3 Diseño de la encuesta

La encuesta se dividió en tres secciones principales. La primera caracterizó a los individuos mediante atributos como edad, sexo, nivel de estudios e ingresos. La segunda sección formuló preguntas sobre las experiencias de las personas con respecto a accidentes de tránsito graves, su actitud frente al riesgo y el modo de transporte más usado. La sección final, referida específicamente a la encuesta de preferencias declaradas, presentó una breve introducción sobre el problema de la accidentalidad en Colombia para que el encuestado entendiera mejor el ámbito de elección antes de someterse al experimento.

El primer diseño de la encuesta se discutió en una reunión del tipo grupo focal cuyas conclusiones motivaron unos ajustes menores que fueron implementados para producir una versión mejorada. La sección de preferencias declaradas presentó cada uno de los nueve escenarios en tarjetas independientes con el fin de reducir la posibilidad de correlación entre las respuestas, garantizando así una información de buena calidad. La figura 1 muestra un ejemplo de la manera como se diseñaron las tarjetas.

|   |  |                        |                          |  |                        |                          |
|---|--|------------------------|--------------------------|--|------------------------|--------------------------|
| 4 | <b>Transporte colectivo convencional</b> | Elige                  | <input type="checkbox"/> | <b>Transporte colectivo con medidas de seguridad</b> | Elige                  | <input type="checkbox"/> |
|   | Tarifa \$: 1.250                         | Tiempo viaje (min): 40 |                          | Tarifa \$: 1.400                                     | Tiempo viaje (min): 30 |                          |
|   | Víctimas mortales: (anual promedio) 6    |                        |                          | Víctimas mortales: (anual promedio) 4                |                        |                          |

Figura 1. Ejemplo de tarjetas individuales para el experimento de elección

Fuente: elaboración propia

#### 1.4 Aplicación de la encuesta

La toma de información de campo se llevó a cabo en la ciudad de Bogotá, durante el mes de abril de 2011. Inicialmente se aplicó una prueba piloto a 26 individuos, y después de eliminar las observaciones provenientes de individuos con comportamiento lexicográfico, se obtuvo un total de 20 encuestas satisfactorias. Con las 180 pseudo-observaciones proporcionadas por estas encuestas se calibró un modelo MNL preliminar y se comprobó la congruencia del experimento con respecto al comportamiento esperado de los parámetros, en especial, la consistencia de signos y su significancia.

Debido a que los resultados de la prueba piloto fueron satisfactorios, para conformar la muestra definitiva se aplicaron 44 encuestas más hasta completar un total de 50 individuos no lexicográficos, que aportaron para la calibración un total de 450 pseudo-observaciones.

La elección de los encuestados se hizo tomando varios puntos de la ciudad de Bogotá, procurando obtener una muestra representativa de adultos en edad productiva, es decir, individuos entre 18 y 60 años. Para tener un marco de referencia de la población objeto del estudio se tomaron datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y el Ministerio de Educación, realizando la caracterización en cuanto a distribu-

ción por edad, sexo, ocupación, nivel de estudios e ingreso medio. Con los datos de referencia se procuró encuestar una muestra aleatoria de similares características a las de la población.

#### 1.5 Validación de la muestra

La representatividad de la muestra con respecto a la población se puede apreciar en los valores contrastados de las tablas 4, 5 y 6.

En términos generales la muestra se considera representativa con diferencias notables en la distribución por nivel de estudios, que son explicadas puesto que la población objetivo corresponde a personas mayores de 18 años de edad, así que es razonable no haber obtenido suficientes observaciones en el nivel de educación primaria.

El nivel de ingreso medio para los individuos de la muestra está alrededor de \$1'400.000 aproximadamente, el cual es consistente con los reportes del DANE referidos a la encuesta nacional de calidad de vida, que ubica el ingreso medio por hogar para Bogotá en \$1'615.000.

#### 1.6 Especificación y estimación de modelos

Fueron especificados distintos tipos de modelos, todos con funciones de utilidad lineales para las dos alternativas consideradas, tal como se ve en las ecuaciones (8) y (9).

**Tabla 4.** Distribución de edad y sexo de la población y la muestra

| Edad    | Distribución de la población (%) |         |         | Distribución de la muestra (%) |         |         |
|---------|----------------------------------|---------|---------|--------------------------------|---------|---------|
|         | Total                            | Mujeres | Hombres | Total                          | Mujeres | Hombres |
| 20 a 24 | 17                               | 9       | 8       | 20                             | 12      | 8       |
| 25 a 29 | 16                               | 8       | 8       | 30                             | 14      | 16      |
| 30 a 34 | 14                               | 7       | 7       | 18                             | 10      | 8       |
| 35 a 39 | 13                               | 7       | 6       | 14                             | 10      | 4       |
| 40 a 44 | 13                               | 7       | 6       | 4                              | 2       | 2       |
| 45 a 49 | 11                               | 6       | 5       | 6                              | 2       | 4       |
| 50 a 54 | 9                                | 5       | 4       | 4                              | 0       | 4       |
| 55 a 59 | 7                                | 4       | 3       | 4                              | 2       | 2       |
| Total   | 100                              | 53      | 47      | 100                            | 52      | 48      |

Fuente: elaboración propia con base en datos del DANE y de las encuestas

**Tabla 5.** Distribución por tipo de ocupación de la población y la muestra

| Tipo de ocupación  | Población (%) | Muestra (%) |
|--------------------|---------------|-------------|
| Empleado           | 40            | 44          |
| Por cuenta propia  | 21            | 26          |
| Patrón o empleador | 4             | 6           |
| Hogar              | 15            | 8           |
| Estudiantes        | 15            | 16          |
| Otra               | 5             | 0           |
| Total              | 100           | 100         |

Fuente: elaboración propia con base en datos del DANE y de las encuestas

$$V_1 = \beta_c \cdot c_1 + \beta_t \cdot t_1 + \beta_r \cdot r_1 + \beta_I \text{ ingr} + \beta_E \text{ edu} \quad (8)$$

$$V_2 = \beta_c \cdot c_2 + \beta_t \cdot t_2 + \beta_r \cdot r_2 \quad (9)$$

Donde  $c_i$  es el costo (tarifa) de transporte en pesos,  $t_i$  es el tiempo de viaje expresado en minutos y  $r_i$  es el riesgo de accidente fatal expresado en muertes por millón, para cada alternativa  $i$ ; los parámetros  $\beta_c$ ,  $\beta_t$  y  $\beta_r$  corresponden a las variables de política del experimento (costo, tiempo de viaje, riesgo de muerte) y los parámetros  $\beta_I$  y  $\beta_E$  se atribuyen a las variables socioeconómicas representadas respectivamente por el ingreso y nivel de educación de cada individuo.

**Tabla 6.** Distribución por nivel de estudio de la población y la muestra

| Nivel de estudio | Población (%) | Muestra (%) |
|------------------|---------------|-------------|
| Ninguno          | 4             | 0           |
| Primaria         | 30            | 2           |
| Secundaria       | 47            | 36          |
| Pregrado         | 14            | 58          |
| Postgrado        | 5             | 4           |
| Total:           | 100           | 100         |

Fuente: elaboración propia con base en datos del DANE y de las encuestas

Utilizando el software BIOGEME 1.8 se estimaron diferentes configuraciones de modelos de tipo MNL, BP y ML, los cuales fueron comparados estadísticamente para elegir el mejor de ellos; con el modelo elegido se hizo la estimación de la DAP por reducir el riesgo de morir en un accidente de tránsito, mediante la ecuación (10), para el contexto de elección anteriormente descrito.

$$DAP_r = \frac{\beta_r}{\beta_c} \quad (10)$$

De manera complementaria se estimó la elasticidad riesgo fatal de accidente de la demanda; así, la variación porcentual en la probabilidad de

utilizar una alternativa más segura en cuanto a la variación porcentual del riesgo se calculó utilizando la ecuación (11).

$$E_{ir_i} = -\beta_r(1 - p_i) \cdot r_i \quad (11)$$

## 2. RESULTADOS

Aunque fueron calibrados modelos de tipo ML, ninguna de las especificaciones probadas permitió obtener modelos de calidad debido a que los componentes aleatorios establecidos en las funciones de utilidad no fueron significativos. Los mejores modelos obtenidos se muestran en la tabla 7, todos ellos con signos consistentes y parámetros altamente significativos.

Manteniendo el supuesto que el término de error distribuye Gumbel, se tiene que el mejor modelo es el MNL-3; sin embargo al suponer una distribución de tipo normal, el mejor modelo es

el BP. Aunque la calidad estadística de estos dos modelos es similar, al evaluar las medidas de bondad de ajuste se encontró que el mejor de ellos es el modelo BP pues, dada la misma complejidad del modelo MNL-3, este tiene una mayor log-verosimilitud final y un mejor valor de  $\rho^2$ .

Al aplicar la ecuación (10) para los modelos MNL-3 y BP, respectivamente, se encontró que la DAP media por reducir el riesgo de morir en un accidente de tránsito para el contexto de elección analizado es de 129 y 128 millones de pesos; entonces, si se acepta que el mejor modelo es el BP, se obtiene como valor estadístico de la vida una cuantía de 128 millones de pesos.

El VEV estimado es significativamente inferior a valoraciones hechas en el Reino Unido, Estados Unidos y la Unión Europea [6] ya que se ubica aproximadamente en el 22% de las valoraciones internacionales tomadas como referencia; sin

Tabla 7. Resumen de modelos calibrados

| Descripción                                       |           | Modelos             |                     |                     |                     |                     |
|---|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|   |           | MNL-1               | MNL-2               | MNL-3               | MNL-4               | BP                  |
| <i>Coefficientes Modales</i>                      |           |                     |                     |                     |                     |                     |
| Costo (1,2)                                       | $\beta_c$ | -0,00326<br>(-6,69) | -0,00377<br>(-7,28) | -0,00368<br>(-7,19) | -0,00326<br>(-6,99) | -0,00224<br>(-7,53) |
| Tiempo de viaje (1,2)                             | $\beta_t$ | -0,0847<br>(-3,33)  |                     | -0,0609<br>(-2,29)  |                     | -0,0363<br>(-2,26)  |
| Riesgo (1,2)                                      | $\beta_r$ | -0,577<br>(-5,48)   | -0,392<br>(-3,37)   | -0,474<br>(-4,35)   | -0,539<br>(-5,27)   | -0,286<br>(-4,40)   |
| <i>Coefficientes de variables socioeconómicas</i> |           |                     |                     |                     |                     |                     |
| Ingresos (1)                                      | $\beta_I$ |                     |                     | -0,275<br>(-3,35)   | -0,325<br>(-4,06)   | -0,172<br>(-3,46)   |
| Nivel de educación (1)                            | $\beta_E$ |                     | -0,480<br>(-4,42)   |                     |                     |                     |
| <i>Medidas de bondad de ajuste</i>                |           |                     |                     |                     |                     |                     |
| Log-verosimilitud inicial                         | $l(0)$    | -311,916            | -311,916            | -311,920            | -311,916            | -311,916            |
| Log-verosimilitud final                           | $l(\ )$   | -273,132            | -268,276            | -267,095            | -269,732            | -266,711            |
| $\rho^2$ ajustado                                 | $\rho^2$  | 0,115               | 0,130               | 0,131               | 0,126               | 0,132               |
| Número de parámetros                              | k         | 3                   | 3                   | 4                   | 3                   | 4                   |
| Tamaño muestral                                   | n         | 450                 | 450                 | 450                 | 450                 | 450                 |

Fuente: elaboración propia con base en datos del DANE y de las encuestas

embargo, se considera que es un valor válido para el ámbito de elección estudiado ya que, como se había anticipado en la fase de diseño experimental, al convertir el VEV de otros países a la renta colombiana se esperaban valores máximos entre 560 [12] y 590 millones de pesos [4].

De manera complementaria, se estimó la elasticidad riesgo de la demanda, aplicando la ecuación (11) sobre la base de los valores medios del experimento, presentados en la tabla 8.

Se encontró que la elasticidad riesgo de la demanda es de -0,5885, un valor razonable si se compara con los resultados de otros estudios [17] y, por lo tanto, se supone que el modelo utilizado es consistente.

**Tabla 8.** Valores medios del experimento

| Alternativa         | Costo (\$) | Tiempo (min) | Riesgo ( $1/10^6$ ) | Ingreso (millones de pesos) |
|---------------------|------------|--------------|---------------------|-----------------------------|
| $V_{\text{MODO 1}}$ | 1350       | 27           | 5,3                 | 2,2                         |
| $V_{\text{MODO 2}}$ | 1767       | 19           | 3,3                 |                             |

Fuente: elaboración propia

### 3. CONCLUSIONES

Se aplicó un experimento de elección que cumple los criterios de ortogonalidad, balance de niveles, traslape mínimo y balance de utilidades, que permitió estudiar satisfactoriamente el comportamiento de los usuarios frente a la decisión de elegir una alternativa de transporte público colectivo urbano caracterizada por el costo (tarifa), tiempo de viaje y riesgo de muerte en accidente de tránsito.

Se encontró que la muestra tomada es representativa con respecto a la caracterización socioeconómica de la ciudad de Bogotá, a excepción de la distribución del nivel educativo por cuanto la investigación se focalizó en individuos en edad de trabajar, cuya distribución es diferente.

Se calibraron modelos de tipo Logit Multinomial, Probit Binario y Logit Mixto; los dos primeros resultaron correctos estadísticamente, mientras que

ninguna de las especificaciones probadas para el modelo Logit Mixto permitió obtener resultados de calidad, debido a que los componentes aleatorios establecidos en las funciones de utilidad no fueron significativos.

Se encontró que el valor estadístico de la vida para el contexto de elección estudiado es de 128 millones de pesos y, aunque es un valor inferior a lo esperado, se constituye en un referente para futuras investigaciones en Colombia. Los resultados muestran, además, que la elasticidad entre el riesgo fatal de accidente y el uso del transporte público es de -0,5885, valor que se considera razonable si se compara con resultados de otros estudios.

Aunque el modelo estimado tiene un nivel de confianza superior al 97%, no se puede afirmar que los resultados sean plenamente concluyentes; así que se recomienda aplicar el estudio en otros contextos de elección, en los cuales se encuentre presente el atributo relacionado con el riesgo de morir en un accidente de tránsito, bien sea en ámbitos urbanos o en carreteras.

### REFERENCIAS

- [1] S. Bhattacharya, A. Alberini and M. L. Cropper, "The value of mortality risk reductions in Delhi, India", *Journal of Risk and Uncertainty*, 34(1), pp. 21-47, 2007.
- [2] F. Carlsson, D. Daruvala and H. Jaldell, "Value of Statistical Life and Cause of Accident: A Choice Experiment", *Risk Analysis*, Vol. 30, N.º 6, pp. 975-986, 2010.
- [3] A. Riera, A. M. Ripoli y J. M. Sbert, "Estimación del valor estadístico de la vida en España: una aplicación del método de los salarios hedónicos", *Revista de Economía Pública*, 181(2), pp. 29-48, 2007.
- [4] L. I. Rizzi and J. D. Ortúzar, "Stated preferences in the valuation of interurban road safety", *Accident Analysis and Prevention*, N.º 35, pp. 9-22, 2003.
- [5] M. Conte, M. Alegre y L. I. Rizzi, *Value of a Statistical Life in Argentina: An Experiment of Declared Preferences in the Choice of Road*, Proyecto de Investigación en Ciencia y Tecnología (PICT 02-10796) - Agencia Nacional Científica y Tecnológica, 2004.
- [6] L. Márquez, "Metodología para valorar los costos externos de la accidentalidad en proyectos de transporte",

- Revista Ingeniería y Universidad*, volumen 14, número 1, pp.161-176, enero-junio de 2010.
- [7] N. Sáenz, *Determinación de los costos de los accidentes de tránsito*, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá: Informe Final, versión 0.0, 2008, 178 p.
- [8] L. G. Wilumsen and J. D. Ortúzar, *Modelling transport*, 3a ed., Chichester: John Wiley & Sons, 2001, 499 p.
- [9] M. Ben-Akiva and D. Bolduc, "Multinomial Probit with a Logit Kernel and General Parametric Specification of the Covariance Structure", *Working paper*, Département d'économique, Université Laval. Böckenholt, U., and WR Dillon, 1996.
- [10] D. McFadden and K. Train, "Mixed MNL Models for discrete response", *Journal of Applied Econometrics*, 15, pp. 447-470, 2000.
- [11] J. Bocarejo. "Boletín de accidentalidad vial" en: *Colombia - Boletín del observatorio de movilidad*, ISSN: 2027-1026, p.1 - v. 2, 2009.
- [12] K. McMahon and S. Dahdah, *The true cost of road crashes*, Valuing life and the cost of a serious injury, International Road Assessment Programme, iRAP, Hampshire, 2008, 12 p.
- [13] G. Koçur, T. Adler, W. Hyman and E. Audet, *Guide to forecasting travel demand with direct utility measurement*, UMTA. Washington: USA Department of Transportation, 1982.
- [14] K. Zwerina, J. Huber and W. E. Kuhfeld, *A General Method for Constructing Efficient Choice Designs*, Ludwigshafen, Germany: SAS Institute Inc., pp. 265-278, 2005.
- [15] D. Street, L. Burgess and J. Louviere, "Quick and Easy Choice Sets: Constructing Optimal and Nearly Optimal Stated Choice Experiments", *International Journal of Research in Marketing*, Vol. 22, pp. 459-470, 2005.
- [16] J. J. Louviere, D. A. Hensher and J. D. Swait, *Stated Choice Methods: Analysis and Application*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 119-126, 2000.
- [17] G. Makajuma and M. Langen, *Urban Transport Market Determinants in Kenya: Modal Choice Analysis*, *Journal of Civil Engineering Research and Practice*, Vol. 7 N.º 1, pp. 47-60, April 2010.

