

# **Metodología para valorar los costos externos de la accidentalidad en proyectos de transporte\***

**Methodology for the Assessment of External Costs of Accidents in Transportation Projects\*\***

**Metodologia para avaliar os custos externos de acidentes em projetos de transporte\*\*\***

*Luis Gabriel Márquez-Díaz\*\*\*\**

---

\* Fecha de recepción: 28 de marzo de 2009. Fecha de aceptación para publicación: 19 de agosto de 2009. Este artículo se deriva de un proyecto de investigación denominado *La accidentalidad: valoración como impacto directo y como una externalidad*, financiado por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

\*\* Submitted on March 28, 2009. Accepted on August 19, 2009. This article results from the research project called *Accidental-ity: Valuation as Direct Impact and an Externality*, financed by the Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

\*\*\* Data de recepção: 28 de março de 2009. Data de aceitação para publicação: 19 de agosto de 2009. Este artigo deriva-se de um projeto de pesquisa denominado *A accidentalidade: avaliação como impacto direto e como uma externalidade*, financiado pela Universidade Pedagógica e Tecnológica da Colômbia.

\*\*\*\* Ingeniero en Transporte y Vías, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. Magíster en Ingeniería con énfasis en Transporte, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Docente de tiempo completo de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo electrónico: [luis.marquez@uptc.edu.co](mailto:luis.marquez@uptc.edu.co).

### Resumen

Este artículo formula una metodología para mejorar la valoración de los costos externos de la accidentalidad en la evaluación económica de proyectos de transporte. Se revisan las causas, las variables y las acciones determinantes en la accidentalidad de tránsito; se esbozan algunas técnicas de pronóstico, y se hace un planteamiento para calcular los costos totales y marginales de la accidentalidad. Se propone valorar el costo externo de la accidentalidad de tránsito según el análisis de las estadísticas de accidentalidad y la identificación de las causas y variables relevantes según el tipo de proyecto de transporte que se vaya a evaluar. La metodología, además, sienta las bases para investigar sobre instrumentos de mercado que permitan una adecuada internalización de los costos externos de la accidentalidad de tránsito. Para aplicar correctamente la metodología propuesta se debe mejorar el registro de las estadísticas nacionales y la identificación de las causas de accidentes. Finalmente, se recomienda incluir en el análisis la pérdida de bienestar causada por el riesgo de morir en un accidente de tránsito, así como el costo social y los costos morales causados por estas muertes.

### Palabras clave

Metodología en predicciones, accidentes de tránsito—costos, accidentes de tránsito—estadísticas.

### Abstract

This article deals with the development of a methodology for improving the assessment of external costs of traffic accidents in the economic assessment of transportation projects. It reviews the causes, variables and determining actions in traffic accidents; it also outlines some forecasting techniques and proposes an approach for the calculation of total and marginal costs of accidents. It is intended to assess external costs of accidents based on the analysis of accident statistics, and on the identification of relevant causes and variables depending on the type of transportation project to be evaluated. The methodology used helps improving the assessment of external costs of accidents, and proposes a basis for research on market-based instruments that permit an adequate internalization of external costs of accidents. In order to properly apply the methodology proposed, there must be an improvement in both national statistic records and the processes for identifying the causes of accidents. Finally, it is recommended that welfare losses caused by the risk of dying in a traffic accident, as well as the social and moral costs caused by traffic accident casualties, are included in the analysis.

### Key words

Forecasting – Methodology, traffic accidents – costs, traffic accidents –statistics.

### Resumo

Este artigo formula uma metodologia para melhorar a avaliação dos custos externos da accidentalidade na avaliação econômica de projetos de transporte. Revisam-se as causas, as variáveis e as ações determinantes na accidentalidade de trânsito; se esboçam algumas técnicas de prognóstico, e se faz uma proposta para calcular os custos totais e marginais da accidentalidade. Propõe-se avaliar o custo externo de a accidentalidade de trânsito de acordo com a análise das estatísticas de accidentalidade e a identificação das causas e variáveis relevantes segundo o tipo de projeto de transporte que se vai avaliar. A metodologia, também, senta as bases para pesquisar sobre instrumentos de mercado que permitam uma adequada interiorização dos custos externos da accidentalidade de trânsito. Para aplicar corretamente a metodologia proposta deve-se melhorar o registro das estatísticas nacionais e a identificação das causas de acidentes. Finalmente, recomenda-se incluir na análise a perda de bem-estar causada pelo risco de morrer em um acidente de trânsito, bem como o custo social e os custos morais causados por estas mortes.

### Palavras chave

Metodologia em predições, acidentes de trânsito—custos, acidentes de trânsito—estatísticas.

## Introducción

El costo mundial de la accidentalidad de tránsito se estima en US\$518.000 millones anuales, de los cuales US\$65.000 millones corresponden a los países de ingresos bajos y medianos. La accidentalidad de tránsito actualmente ocupa el noveno lugar como causa de muerte en el mundo entero y se espera que llegue al sexto lugar en el año 2020; además, como la mayoría de las víctimas son jóvenes, la accidentalidad de tránsito se ha convertido en la segunda causa de reducción de la expectativa de vida en el mundo (Peden, 2004).

En Colombia, el costo de la accidentalidad de tránsito se mantiene entre 1,25% y 2,5% del producto interno bruto (PIB), y se reconoce que en términos de productividad y costos sociales se han perdido aproximadamente 201.000 años de vida potencialmente activos (Ministerio de Transporte de Colombia, 2004). Respecto a otras naciones latinoamericanas, se encuentra que Colombia, con 11,8 muertos por cada cien mil habitantes, sólo es superada por Argentina, que registra un índice de accidentalidad de tránsito considerablemente alto si se compara con el promedio de la región; pero frente a países vecinos como Brasil, Ecuador y Venezuela, Colombia presenta el mayor número de muertos en accidentes de tránsito en función de la población (Fondo de Prevención Vial, 2005). En cuanto a la tasa de morbilidad, Colombia tiene un índice de 88,9 heridos por cada diez mil vehículos y se ubica en peor situación frente a países de la región, como Uruguay y Venezuela, y frente a los países desarrollados, excepto Japón, que en el 2004 presentó un índice de 117,2.

Existe suficiente literatura sobre el tema que apoya la tesis que la accidentalidad de tránsito constituye una de las externalidades de mayor impacto del sector transporte (Lindberg, 1999; Verhoef *et al.*, 2001; Litman, 2002) y dado que los agentes que se desplazan no internalizan todos los costos sociales que genera su desplazamiento, ellos tienden a realizar más viajes que los socialmente óptimos (Universidad de los Andes e Instituto SER, 2003); sin embargo, una correcta internalización de los efectos externos de la accidentalidad de tránsito

podría tener un importante impacto en materia de prevención de accidentes (Rizzi, 2005). Para ello, es necesario cuantificar correctamente los costos externos de la accidentalidad de tránsito, aplicando principios teóricos adecuados que permitan su apropiada valoración (Márquez, 2008).

Al respecto, la mayoría de los países utiliza análisis de costo-beneficio o variaciones de este para la evaluación económica de proyectos de transporte (Universidad de los Andes e Instituto SER, 2003), aunque en la práctica el costo externo de la accidentalidad se ha considerado durante mucho tiempo como un costo medio simple, con unas suposiciones más o menos cualificadas en la asignación del costo entre los componentes externos e internos, lo cual se constituye en una carencia evidente de una base teórica completamente desarrollada (Lindberg, 1999).

Estudios previos han demostrado que en Colombia no se ha valorado de manera correcta el costo de la accidentalidad en la evaluación económica de proyectos de transporte (Márquez, 2008). El examen de los documentos del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES 2932 de 1997, 2999 de 1998, 3093 de 2000, 3185 de 2002 y 3452 de 2006) indica que normalmente los impactos económicos valorados se refieren a la reducción de costos de operación y a la disminución en los tiempos y costos de viaje, y que se han olvidado los beneficios (costos) que el proyecto pueda ocasionar por cambios esperados sobre la accidentalidad de tránsito.

La revisión de algunos proyectos de transporte (Duarte Guterman y Cía., 2000; Universidad Nacional de Colombia, 1999; TTC, SYSTRA y GGT, 2001) revela que, aun en estos estudios, más detallados y específicos, la valoración del impacto sobre la accidentalidad de tránsito no ha tenido mayor importancia; en algunos casos siquiera es considerada, en otros se hacen suposiciones muy simplistas, y a falta de datos propios del área de influencia del proyecto, son utilizados valores de otros estudios que no corresponden a las particularidades del proyecto que se evalúa (Márquez, 2008).

En el estudio de evaluación económica y financiera de la primera fase del sistema TransMilenio se estimó el número de accidentes teniendo en cuenta la gravedad y un valor ponderado por accidente, que variaba entre 10, 180 y 600 salarios mínimos diarios, según se tratara de accidentes con daños materiales, heridos o muertos, respectivamente. Debido a la subestimación de los verdaderos beneficios por reducción de la accidentalidad de tránsito, el mayor beneficio cuantificado fue el ahorro en tiempo de viajes, que representa un 82,48% de los beneficios totales (Chaparro, 2002).

Así, partiendo de que los efectos de la accidentalidad de tránsito se incrementarán en el futuro próximo (Mendoza, 2005) y dado que en la evaluación económica de proyectos de transporte importa considerar aquellos impactos que determinan un aporte al bienestar socioeconómico, el interés de este trabajo de investigación se centra en formular una metodología general para mejorar la valoración de los costos externos de la accidentalidad en la evaluación económica de proyectos de transporte.

## 1. Antecedentes teóricos

La justa valoración de los costos externos de la accidentalidad se sustenta en el marco teórico que se expone a continuación.

### 1.1 *Causas, variables y acciones*

Entre los componentes determinantes de la accidentalidad de tránsito se encuentran los factores humanos; las condiciones meteorológicas; los factores ambientales; las condiciones de los vehículos; las características geométricas del trazado en planta y en perfil; la iluminación, visibilidad, superficie de rodadura, adherencia y características especiales de la vía respecto a los límites de velocidad; la composición del tránsito, y la congestión.

La mayoría de los accidentes se presentan en las principales vías arterias de las zonas urbanas como producto de las mayores velocidades y la mayor densidad de tráfico. Según Forkenbrock y Weisbrod (2001), los factores ajenos a las características de las vías, como condiciones meteorológicas, condiciones de los vehículos y factores humanos, rara vez son tenidos en cuenta en el desarrollo de los métodos utilizados para estimar las tasas de accidentalidad de tránsito, a pesar de que con ciertos factores de riesgo de accidentes se evalúan los beneficios (costos) de un proyecto de transporte (Litman, 2002).

Algunas acciones con las que se pueden reducir las tasas de accidentalidad de tránsito son: expandir la capacidad del sistema vial y reducir la congestión, optimizar las condiciones de señalización y las restricciones a la circulación, mejorar las condiciones de las vías, reducir la exposición al riesgo y disminuir la variabilidad de la velocidad de los vehículos (Forkenbrock y Weisbrod, 2001; Universidad de los Andes e Instituto SER, 2003).

### 1.2 *Pronóstico de la accidentalidad de tránsito*

Al considerar que los accidentes de tránsito son eventos de tipo aleatorio, su predicción es útil solamente para calcular beneficios por la reducción de los

índices de accidentalidad. Para predecir los impactos en seguridad vial de un proyecto de transporte, Forkenbrock y Weisbrod (2001) recomiendan estimar el número de accidentes basándose en las tasas históricas de accidentalidad de tránsito y en la cantidad esperada de vehículos-kilómetro por unidad de tiempo, para lo cual proponen varios métodos, cuya escogencia depende de la disponibilidad de información y de recursos económicos. En los casos más sencillos, la relación entre accidentes y flujo de tránsito es tomada como una relación lineal y, en consecuencia, se espera que la accidentalidad aumente con la exposición al tráfico ( $e$ ).

$$E(A) = k \cdot e^{\nu} \quad (1)$$

Apartándose un poco de este enfoque un tanto simplista, algunos autores sugieren que la regresión armónica dinámica (DHR, por su sigla en inglés) puede ser usada satisfactoriamente (García-Ferrer *et al.*, 2006); para esto, la serie histórica de accidentalidad de tránsito puede complementarse con la medición de variables socioeconómicas (índice de producción industrial, consumo de gasolina, consumo de diésel, tasa de motorización) para construir un modelo ARIMA, cuya formal general es:

$$y_t = T_t + S_t + e_t \quad (2)$$

Donde:

$y_t$ : serie de tiempo observada, en este caso la accidentalidad de tránsito.

$T_t$ : componente que representa la tendencia de los datos.

$S_t$ : componente estacional.

$e_t$ : perturbación aleatoria que se considera normalmente distribuida, con media cero y varianza desconocida.

La inclusión de las variables económicas daría como resultado un modelo causal econométrico general que puede ser escrito así:

$$\phi(L)\Phi(L^s)\nabla^d\nabla^D y_t = \sum_{i=1}^k v_i(L)\nabla^d\nabla^D x_{it} + \sum_{j=1}^m \partial_j(L)\nabla^d\nabla^D z_{jt} + \theta(L)\Theta(L^s)a_t \quad (3)$$

En este modelo,  $x_{it}$  representa el vector de variables incluidas en el modelo,  $v_i(L)$  incorpora el modelo dinámico de la  $i$ -ésima variable,  $\theta(L)$  y  $\Theta(L^s)$  son los operadores del componente de media móvil regular y estacional y  $\phi(L)$  y  $\Phi(L^s)$

son los operadores autorregresivos de los componentes regular y estacional, respectivamente. Los demás términos se refieren a las derivadas regular y estacional, necesarios para garantizar que las series de tiempo sean estacionarias.

### *1.3 Cambios en la accidentalidad generados por un proyecto de transporte*

Para establecer la influencia de los elementos de la vía en la accidentalidad de tránsito, se pueden usar los modelos de previsión de accidentes de tránsito, que buscan estimar las tasas de accidentes razonables para una sección de la vía con determinadas características geométricas y así determinar cuáles características físicas del proyecto tienen mayor influencia en la seguridad ofrecida por la vía y establecer la magnitud esperada de reducción en los accidentes a partir de diferentes mejoras en el proyecto vial.

Una técnica alternativa es el uso de los factores de modificación de accidentes (AMF, por su sigla en inglés), que miden el efecto incremental en los accidentes a partir de un cambio adoptado en un elemento individual de diseño o de control de tránsito (Harwood, 2000). Los AMF para la situación base se asumen igual a uno y cualquier cambio positivo en la geometría de la vía o en los dispositivos de control del tránsito dará como resultado un AMF menor que uno.

En otro tipo de proyectos de transporte, como la implantación de un sistema de transporte masivo o la construcción de un nuevo tramo de vía en una ciudad, puede ser útil determinar el impacto de la accidentalidad en función del cambio en los flujos de tráfico; para esto se desarrolla un proceso de modelación del transporte que permita simular las nuevas condiciones con proyecto (Márquez, 2006) y para esta nueva condición de flujos de tráfico se estima la accidentalidad a partir de la correlación existente entre volumen de tráfico y tasas de accidentalidad.

### *1.4 Costos totales y marginales*

Cuando se aborda el enfoque de modelación para simular los cambios en la accidentalidad del tránsito generados por un proyecto de transporte, interesa establecer una relación básica entre el flujo y la accidentalidad (Márquez, 2008), utilizando una metodología que estime el costo total de la accidentalidad y a partir de este derivar el costo marginal.

En algunos enfoques un tanto simplistas (ISIS *et al.*, 1998), el costo externo de la accidentalidad no depende del volumen de tráfico y, por lo tanto, el costo marginal en función del flujo vehicular no puede calcularse. Otros modelos (Lindberg, 2002) suponen que el número de accidentes  $A$  es una función del volumen de

tráfico  $Q$  y de otras variables explicativas; para el autor,  $A$  puede ser visto como un vector que representa diferentes grados de severidad de acuerdo con la cuantificación de algunas variables, como la disposición a pagar ( $a$ ) del individuo, la de sus familiares y amigos ( $b$ ) y el costo externo del sistema ( $c$ ), que se relaciona principalmente con los costos médicos y del sistema de seguridad social.

$$A = f(Q, \dots) \quad (4)$$

El costo marginal ( $CM$ ) respecto al volumen de tráfico se deduce a partir de la función de costo total ( $CT$ ) y, finalmente, se deriva el costo marginal externo ( $CM^e$ ), donde  $CMP$  es el costo marginal privado interiorizado por el usuario.

$$CT = A(a + b + c) \quad (5)$$

$$CM = \frac{\partial A}{\partial Q}(a + b + c) \quad (6)$$

$$CM^e = CM - CMP \quad (7)$$

Si se introduce  $r=A/Q$  como el riesgo de accidente y  $\theta$  como la parte del costo total del accidente que recae sobre los demás usuarios, se supone que una víctima internaliza el costo esperado de su valor estadístico de la vida (VEV). El riesgo  $r$  puede verse afectado por un incremento en el volumen de tráfico y este efecto es convenientemente escrito como una elasticidad-riesgo  $E$ .

$$E = \frac{\partial r}{\partial Q} \frac{Q}{r} \quad (8)$$

De esta manera, el costo externo marginal agregado se calcularía así:

$$CM^e = r(1 - \theta + E)(a + b) + rc(1 + E) \quad (9)$$

Existen otros modelos sencillos (Beuthe *et al.*, 2002) y algunos modelos más complejos (Rizzi, 2005) que estudian cómo valorar los efectos que la congestión y las políticas de diseño vehicular e infraestructura vial producen en los costos externos de la accidentalidad, incorporando dos variables cualitativas que contribuyen a reducir la accidentalidad de tránsito y que están relacionadas con el diseño vial y el diseño del vehículo.



### 1.5 Cuantificación de beneficios (costos) sociales

Aunque la medición de los beneficios sociales con proyecto frente a la situación base presenta algunas particularidades en función de la intervención proyectada y del modo de transporte en consideración (Rus, 2006), los costos económicos totales generados por los accidentes se pueden clasificar de forma general en dos grupos: costos de mercado y costos no cuantificables a partir de valores de mercado (Litman, 2002). La valoración económica de los bienes que se transan en el mercado se logra corrigiendo los precios en un análisis de eficiencia, a fin de eliminar distorsiones como los impuestos y los subsidios, o distorsiones en el comercio exterior; para esto basta con aplicar la razón precio-cuenta (RPC) correspondiente al costo de mercado del bien. Sin embargo, la valoración de ciertos impactos no monetarios, como el costo externo de la accidentalidad, requiere aplicar metodologías alternativas de asignación de precios cuenta de eficiencia, dentro de las que se pueden mencionar (Castro y Mokate, 2003):

- Costos por daño. Se basa en el supuesto que el costo de un daño será como máximo el costo necesario para repararlo o evitarlo.
- Valoración contingente o de preferencias declaradas (PD). Se fundamenta en la medición del impacto de un proyecto a partir de la estimación de la máxima disposición a pagar por el proyecto.
- Costos de control o prevención. Estima los costos de control que se requieren para evitar que se produzca algún impacto.
- Tasa de compensación. Se basa en las compensaciones legales fijadas por los daños producidos o impuestos a la sociedad o a individuos por los impactos. Su aplicación debe hacerse con reserva, porque contiene aspectos subjetivos en su valoración, por los fallos judiciales y posibles conciliaciones entre las partes.
- Método de los salarios hedónicos. Trata de capturar en una ecuación salarial las características personales y laborales determinantes del salario con la intención de aislar la relación salario-riesgo (Riera *et al.*, 2007).
- Existen otros métodos alternativos, entre los que pueden citarse la cuantificación de la pérdida de productividad social por parte de la víctima, con base en los cálculos actuariales de su expectativa de vida.

### 1.6 El valor estadístico de la vida

El VEV se usa en estudios económicos que intentan medir las pérdidas de bienestar causadas por el riesgo de morir. Matemáticamente, el promedio de la *disposición a pagar* (DAP) por reducir el riesgo de muerte se divide entre el valor de la reducción de riesgo  $\Delta r$  (ISIS *et al.*, 1998) para estimar el VEV.

$$VEV = \frac{DAP}{\Delta r} \quad (10)$$

Existen opiniones divididas entre los economistas acerca del valor monetario que las entidades públicas deben utilizar para cuantificar los efectos que, sobre la seguridad vial, produce la implementación de políticas o la construcción de infraestructuras de transporte; en general, este valor puede expresarse como la agregación de la disposición a pagar individualmente por la implementación de políticas de seguridad o la disposición a aceptar como compensación por un incremento en el riesgo (Blaeijs *et al.*, 2003).

En el Reino Unido, el gobierno ha medido desde 1980 el VEV a través de la disposición a pagar de los individuos para reducir el riesgo de muerte. En la práctica, un amplio rango de valores ha sido estimado para el VEV; en 1997 el intervalo estimado estaba entre £750.000 y £1.250.000 (Goodbody Stoc-kbrokers, 2004). Igualmente, a partir del análisis de 30 estudios en Estados Unidos y la Unión Europea, se encontró para el mismo año un valor medio del VEV equivalente a US\$4.400.000, con una mediana de US\$3.200.000 (Blaeijs *et al.*, 2003). En el caso español, a partir de la aplicación de la técnica de los salarios hedónicos, se encontró que el VEV, a precios del 2000, se encuentra en el rango de €2.040.000 a €2.690.000 (Riera *et al.*, 2007).

Si bien un análisis de eficiencia no asigna valor a la redistribución y no diferencia entre individuos de distinta naturaleza, es conveniente mencionar que, de acuerdo con algunos estudios, se encuentran montos distintos para el VEV entre adultos de hogares que tienen niños frente a aquellos que no los tienen y entre adultos con niños o sin estos, dependiendo de los ingresos (Leung y Guria, 2006).

### 1.7 Costos de los procesos judiciales

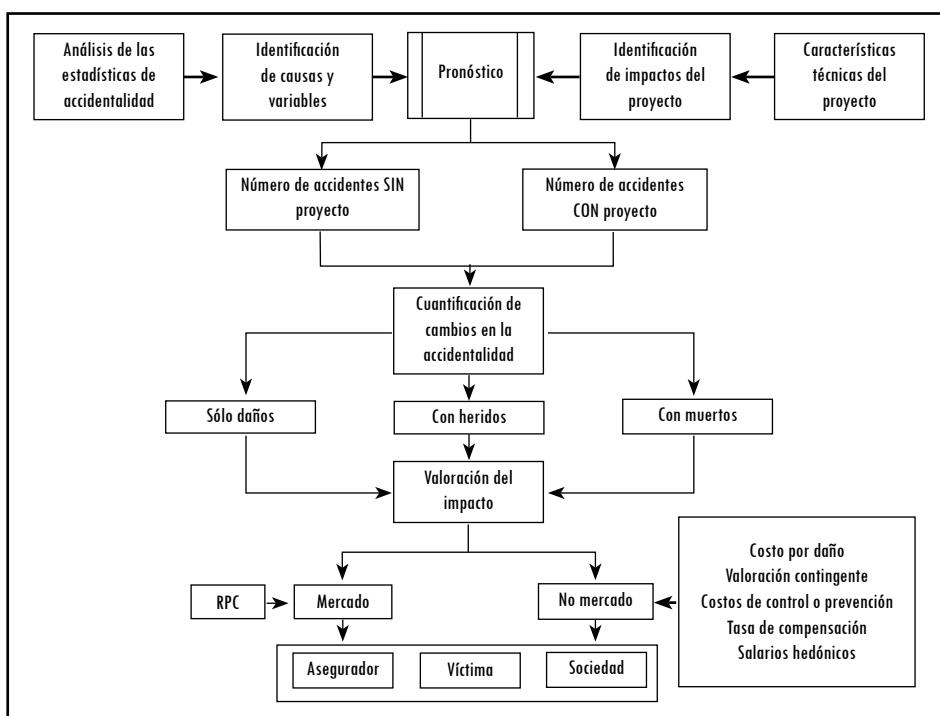
Un componente del costo externo de la accidentalidad que puede ser muy importante, pero del cual no se encuentran suficientes referentes, es el relacionado con los procesos judiciales que se adelantan para reclamar por los daños y perjuicios causados a las víctimas de la accidentalidad de tránsito.

Sobre el particular, desde una perspectiva de eficiencia, se considera que el análisis económico del derecho es esencial para determinar si en vez del sistema judicial otros mecanismos como los sistemas de seguros, coberturas de riesgos o soluciones administrativas son menos costosos y efectivos que el judicial. Por ejemplo, para reclamar daños y perjuicios en casos de accidentes de tráfico en Estados Unidos, el costo de poner un dólar en manos de la víctima a través del sistema legal es superior a un dólar, mientras que a través del sistema de seguros cuesta entre diez y veinte centavos (The World Bank, 1999).

## 2. Metodología propuesta y discusión

Se propone valorar el costo externo de la accidentalidad de tránsito siguiendo el proceso mostrado en la Figura 1, que arranca, por un lado, del análisis de las estadísticas de accidentalidad existentes para identificar las causas más probables y las variables más relevantes en función del tipo de proyecto que se pretenda evaluar, y por el otro, de la identificación de las características técnicas e impactos del proyecto, para terminar en la valoración del impacto para el asegurador, la víctima y la sociedad.

Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología propuesta



Fuente: presentación propia del autor.

En Colombia, las estadísticas oficiales, tanto en el ámbito urbano como en el intermunicipal, no facilitan la tarea de identificación de causas, ya que los reportes estatales consideran un 29% de causas sin establecer y más del 67% de causas atribuibles al factor humano. Por lo tanto, existe gran incertidumbre frente a la cantidad de accidentes que puede afectar un proyecto de transporte, y

no es razonable afirmar que un proyecto de infraestructura vial tendría impacto en 0,67% de los accidentes, dado que las estadísticas oficiales indican que esta es la proporción de causas asociadas con la vialidad. Ya se había advertido acerca de la tendencia a subestimar los efectos de la vialidad sobre la ocurrencia de los accidentes de tránsito y a responsabilizar al factor humano por errores de percepción o de reacción provocados por ambientes viales demasiado complejos o exigentes.

Se encuentra útil, especialmente en el proceso de cuantificación de impactos de proyectos viales por carretera, investigar acerca de los AMF, ya que brindan una base teórica para estimar el efecto incremental en los accidentes a partir de cambios adoptados en la vialidad. Este fundamento teórico podría contrarrestar en parte la subjetividad que caracteriza a este tipo de procesos. En el ámbito urbano, la calibración de modelos de asignación de tránsito no es una herramienta suficiente para determinar el impacto de la accidentalidad, ya que por sí sola no puede explicar la manera como se incrementan o disminuyen los accidentes a partir de modificaciones en la asignación de flujos.

Se recomienda complementar este enfoque con la implementación de modelos de previsión de accidentes de tránsito, para estimar las tasas de accidentes razonables para una sección de vía con determinadas características geométricas y así determinar cuáles características físicas del proyecto tienen mayor influencia en la seguridad ofrecida por la vía y establecer la magnitud esperada de reducción en los accidentes a partir de la realización de diferentes mejoras en el proyecto vial.

Para el pronóstico de los accidentes de tránsito con proyecto y sin proyecto se dispone de varios enfoques. El más simple supone una relación lineal entre el número de accidentes y una variable o conjunto de variables que representan la exposición al tráfico; sin embargo, la respuesta monótona de este tipo de modelos no es apoyada por las teorías del comportamiento, así que algunos autores proponen utilizar modelos del tipo DHR, que incluyen variables socioeconómicas para explicar el comportamiento de la serie histórica de accidentalidad de tránsito.

Este método, que provee un desarrollo matemático más riguroso que el primero, tiene la desventaja de requerir más información, no sólo histórica sino transversal, dado que un modelo de serie de tiempo multivariado necesita gran cantidad de información para ser calibrado, máxime cuando la accidentalidad tiene un fuerte componente estacional. Transversalmente también es necesario disponer de más información como índices de producción industrial, consumo de combustible o tasas de motorización, lo cual hace que la tarea de pronóstico se torne más compleja y costosa.

El pronóstico también estará asediado por algún grado de incertidumbre. Si se espera que un proyecto de mejoramiento vial produzca, a la vez, una reducción en la accidentalidad de tránsito y un incremento en la velocidad de los vehículos, ¿cómo valorar adecuadamente cada efecto?, y ¿cómo medir el efecto de los cambios esperados en la velocidad sobre los accidentes? Si se sabe que a mayor velocidad aumenta la probabilidad de muerte, es de esperar que a pesar de la disminución del número de accidentes totales, haya un incremento en el número de accidentes fatales. Se recomienda que los pronósticos de accidentalidad de tránsito incluyan la velocidad como otra variable explicativa, ya que de ella depende en parte la gravedad del accidente.

La valoración de los impactos que tengan costos de mercado puede expresarse en términos económicos aplicando las correspondientes RPC. En Colombia se utilizan las RPC estimadas por Cervini (1990) hace más de 15 años, las cuales sin duda ameritarían una revisión para estimar con mayor confianza los costos marginales sociales. Para valorar los impactos no monetarios se pueden utilizar alternativamente o de manera complementaria las técnicas de costos por daño, valoración contingente o de preferencia declarada, costos de control o prevención, tasa de compensación y el método de los salarios hedónicos. Ninguno de estos métodos por sí solo es suficiente para determinar los impactos de la accidentalidad de tránsito, a pesar de que en algunos casos puede elegirse alguno de ellos para valorar un costo en particular. Por ejemplo, el valor estadístico de la vida bien puede encontrarse con el método de valoración contingente (PD) o con el método de los salarios hedónicos, aunque este último funciona mejor en mercados laborales competitivos, donde un mayor riesgo laboral, implica un mayor ingreso salarial.

Pese a que en el mundo ha tenido gran desarrollo y aplicación el cálculo del VEV, en Colombia este componente de costo, que intenta medir las pérdidas de bienestar causadas por el riesgo de morir, no ha sido incluido en los estudios de evaluación económica de proyectos de transporte, con lo cual se ha subestimado la valoración de la accidentalidad de tránsito.

Es indispensable estimar el costo externo de la accidentalidad en función del volumen de tráfico, a fin de que pueda calcularse el costo marginal de la accidentalidad. También resulta conveniente reflejar en el modelo la relación existente entre una mayor cantidad de tráfico y el riesgo de accidentes fatales y de menor gravedad, pues surge de esta manera una elasticidad riesgo-fatal, que debe ser negativa, y una elasticidad riesgo-leve, que debe ser positiva, ya que a mayor flujo, menor velocidad y, en consecuencia, menor riesgo de accidentes fatales.

### 3. Conclusiones

Se presentó y discutió una metodología general que permite mejorar la valoración de los costos externos de la accidentalidad de tránsito en la evaluación económica de proyectos de transporte. La construcción del marco teórico, en el cual se sustenta la metodología propuesta, precisó una revisión integral de los principales referentes internacionales existentes sobre el tema. Se encuentra que para aplicar correctamente la metodología propuesta en Colombia se debe mejorar tanto la identificación de causas de la accidentalidad de tránsito como el registro de las estadísticas nacionales, en el sentido de expresar los índices de accidentalidad de tránsito en términos de vehículo-kilómetro, ya que el costo marginal de accidentes está asociado con la presencia de un vehículo-kilómetro adicional.

### 4. Trabajos futuros

En Colombia no se encuentran antecedentes de la estimación del VEV; por tal razón se pretende iniciar una tarea investigativa en tal sentido, aplicando la técnica de valoración contingente o PD, con el propósito de facilitar una correcta valoración de los costos externos de la accidentalidad de tránsito en el país, que reconozca la existencia de los costos morales y el dolor para una familia por la pérdida prematura de un ser querido. Igualmente, se espera investigar cuáles instrumentos de mercado aplicables en Colombia permitirían mejorar la gestión de la seguridad vial, a partir de una adecuada internalización de los costos externos de la accidentalidad del tránsito.

### Referencias

- BEUTHE, M. *et al.* External costs of the Belgian interurban freight traffic: a network analysis of their internalisation. *Transportation Research Part D*, 2002, vol. 7, núm. 1, pp. 285-301.
- BLAEIJ, A. de *et al.* The value of statistical life in road safety: a meta-analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 2003, vol. 35, núm. 1, pp. 973-986.
- CASTRO, R. y MOKATE, K. *Evaluación económica y social de proyectos de inversión*. 2a ed. Bogotá: Alfaomega, 2003.
- CERVINI, H. *Estimación de precios cuenta para Colombia (documento interno de trabajo)*. Washington: División de Investigación de Política de Desarrollo, Banco Interamericano de Desarrollo, Anexo 2, Razones de los precios cuenta, 1990.
- CHAPARRO, I. *Evaluación del impacto socio-económico del transporte urbano en la ciudad de Bogotá: EL caso del sistema de transporte masivo, Transmilenio*. Santiago de Chile: Naciones Unidas, 2002.
- CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL. *Documento CONPES 3188: evaluación de impacto de programas sociales*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación PE-DEGR, 2002.

- CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL. *Documento CONPES 3166: sistema integrado de transporte masivo de pasajeros para Santiago de Cali-seguimiento*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación DIE-GEINF, 2002.
- . *Documento CONPES 3452: sistema integrado del servicio público urbano de transporte masivo de pasajeros del Valle de Aburrá-seguimiento*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación DIES-GEINF, 2006.
- DUARTE GUTERMAN Y CÍA. *Estudio para el análisis de alternativas tecnológicas para vehículos de transporte urbano colectivo que hacen parte del programa de reposición del parque automotor*. Bogotá, 2000.
- FONDO DE PREVENCIÓN VIAL. *Informe de accidentalidad: capítulo 1* [documento en línea]. 2005 <<http://www.fonrepvial.org.co>> [Consulta: 7-3-2008].
- FORKENBROCK, D. J. y WEISBROD, G. E. *Guidebook for assessing the social and economic effects of transportation projects*. NCHRP Report 456, TRB, 2001.
- GARCÍA-FERRER, A. *et al.* Forecasting traffic accidents using disaggregated data. *International Journal of Forecasting*, 2006, vol. 22, núm. 1, pp. 203-222.
- GOODBODY STOCKBROKERS. *Cost benefit parameters and application rules for transport project appraisal* [documento en línea]. [Dublin:] Goodbody Economic Consultants, 2004. <<http://www.goodbody.ie/aboutgoodbody/reports/Cost%20Benefit%20Parameters.pdf>> [Consulta: 7-3-2008].
- HARWOOD, D. *Prediction of the expected safety performance of rural two-lane highways*. Kansas City: Federal Highway Administration, 2000.
- ISIS *et al.* *QUITS: Quality Indicators for Transport Systems*. Rome: The European Commission-DGVII, 1998.
- LEUNG, J. y GURIA, J. Value of statistical life: Adults versus children. *Accident Analysis and Prevention*, 2006, vol. 38, núm. 1, pp. 1208-1217.
- LINDBERG, G. *Calculating transport accident costs*. Borlänge: VTI, 1999.
- . *Deliverable 9: accident cost case studies. Case study 8a: marginal external accident costs in switzerland*. Leeds: ITS, University of Leeds, 2002.
- . *Deliverable 9: accident cost case studies. Case study 8d: external accident cost of heavy goods vehicles*. Leeds: ITS, University of Leeds, 2002.
- LITMAN, T. *Transportation cost analysis: techniques, estimates and implications* [libro en línea]. Victoria: Victoria Transport Policy Institute, 2002. <<http://www.vtpi.org/tca/tca00.pdf>> [Consulta: 12-4-2008].
- MÁRQUEZ, L. *Modelación de la demanda de transporte con TransCAD*. Tunja: Luis Gabriel Márquez Díaz-Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2006.
- . *La accidentalidad: valoración como impacto directo y como una externalidad*. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2008.

- MENDOZA, A. Estimación del costo de las inconveniencias externas del tránsito con fines de tarificación de vías nuevas. En PIARC. *Seminar on road pricing with emphasis on financing, regulation and equity*. Cancún, 2005.
- MINISTERIO DE TRANSPORTE DE COLOMBIA. *Plan Nacional de Seguridad Vial 2004-2006 "Hacia una Nueva Cultura de Seguridad Vial"*. Bogotá, 2006.
- PEDEN, M. *et al.* *World report on road traffic injury prevention*. Geneva: World Health Organization, 2004.
- RIERA, A. *et al.* Estimación del valor estadístico de la vida en España: una aplicación del método de salarios hedónicos. *Revista de Economía Pública*, 2007, vol. 181, núm. 2, pp. 29-48.
- RIZZI, L. I. Diseño de instrumentos económicos para la internalización de externalidades de accidentes de tránsito. *Cuadernos de Economía*. 2005, vol. 42, núm. 1, pp. 283-305.
- RUS, G. de *et al.* *Manual de evaluación económica de proyectos de transporte*. Washington: Publicaciones de Infraestructura y Mercados Financieros, División de Infraestructura y Mercados Financieros, Banco Interamericano de Desarrollo, 2006.
- THE WORLD BANK. The law and economics of judicial systems. *PREM Notes Public sector* [artículo en línea], 1999, núm. 26. <<http://www1.worldbank.org/prem/PREMNotes/premnote26.pdf>> [Consulta: 10-9-2008].
- TTC, SYSTRA y GGT. *Diseño conceptual del Sistema Integrado de Transporte Masivo del Área Metropolitana del Centro Occidente*. Bogotá, 2001.
- UNIVERSIDAD DE LOS ANDES e INSTITUTO SER. *Asesoría para formular una política para desarrollar la evaluación económica de proyectos de transporte urbano de pasajeros en Colombia*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación, 2003.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. *Estudio para la elaboración del Plan Piloto de Tránsito y Transporte del Municipio de Ibagué: informe final*. Bogotá, 1999.
- VERHOEF, E. *et al.* Benefits and costs of transport classification, methodologies and policies. *Papers in Regional Science*, 2001, vol. 80, núm. 2, pp. 139-164.