



Certificación ISO 9001:2000 ‡

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO Y COSTO-EFECTIVIDAD DE LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD IMPLEMENTADAS EN CARRETERAS MEXICANAS

César Rivera Trujillo
Alberto Mendoza Díaz

**Publicación Técnica No. 319
Sanfandila, Qro, 2009**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Análisis costo-beneficio y costo-efectividad de las
medidas de seguridad implementadas en
carreteras mexicanas**

Publicación Técnica No. 319
Sanfandila, Qro, 2009

La presente investigación fue realizada en la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte, del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), por el Dr. César Rivera Trujillo y el Dr. Alberto Mendoza Díaz.

Se agradece la información proporcionada por la Dirección General de Servicios Técnicos y de la Dirección General de Conservación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Índice

Resumen	v
Abstract	vii
Resumen Ejecutivo	ix
1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivo de la investigación	2
1.2.1 Objetivos específicos	2
1.3 Alcances	2
1.4 Metodología	2
1.5 Estructura del reporte	3
2. Metodología para evaluación de las medidas de seguridad vial en carreteras	5
2.1 Análisis costo efectividad ACE	6
2.2 Análisis costo beneficio ACB	7
2.3 Valuación estadística de la vida	10
3. Análisis costo-beneficio y análisis costo-efectividad de medidas de seguridad vial implementadas en carreteras mexicanas	13
4. Conclusiones y recomendaciones	21
5. Bibliografía	23

Resumen

El presente estudio presenta una revisión de las principales metodologías empleadas para evaluar medidas de seguridad vial en carreteras. A través del análisis costo-beneficio y costo-efectividad, el trabajo identifica las mejores medidas de seguridad vial implementadas en Carreteras Federales de México, durante el periodo 2001-2005. Esto se efectúa con base en una muestra que comprende los proyectos de mejoramiento desarrollados por la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT (DGST) para un conjunto de sitios conflictivos en Carreteras Federales, e implementados por la Dirección General de Conservación de Carreteras de la SCT (DGCC), dentro del Programa Nacional de Atención a Puntos de Conflicto. Asimismo, utilizando el método del capital humano, se actualiza el valor estadístico de la vida y de los heridos para el caso de México,

Los resultados de las evaluaciones indican que la mejor medida de seguridad implementada en las carreteras mexicanas es la señalización. Además, dentro de las mejores medidas de seguridad se encuentran combinaciones, donde el señalamiento se encuentra en prácticamente cada combinación. Esta investigación intenta ser una guía para las autoridades encargadas de la formulación de las estrategias de seguridad vial en las carreteras de México.

Abstract

This paper presents a review of the two main methodologies to evaluate road safety measures. Moreover, using cost-benefit analysis and cost-effectiveness analysis, the study evaluates road safety measures implemented in Mexican roads during the period 2001-2005. Based on the human capital approach and the International Road Assessment Programme methodology, this study also estimates the Value of Statistical Life and the value of a serious injury for the Mexican case. Evaluation results provide two set of rankings with the best road safety measures using Cost-Effectiveness and Cost-Benefit Analysis.

The results indicate that signaling is by far the best road safety measure implemented in Mexican roads. Moreover, within the best practice safety measures, there are combinations of safety measures, where signaling appears in almost every combination. This study tries to provide some policy implications and guidance for Mexican authorities in formulating effective road safety strategies.

Resumen ejecutivo

Los elevados costos que producen los accidentes carreteros hace prioritario implementar medidas de seguridad que reduzcan de manera significativa la pérdida de vidas humanas, así como los gastos derivados de los recursos materiales dañados o perdidos en los accidentes. Hoy en día, existe gran diversidad de medidas encaminadas a mejorar la seguridad vial en carreteras, sin embargo; los recursos disponibles no son suficientes como para implementar todas las necesarias en todos los sitios referidos como “peligrosos”. Por tanto, deben tomarse decisiones en relación a qué medidas implementar y en qué lugares específicos. Para ello, es necesario justificar la selección a través de la evaluación de sus beneficios y costos o su costo-efectividad, de tal forma que con las medidas seleccionadas se maximicen los beneficios en términos de la salud pública y se minimicen los costos derivados de los accidentes carreteros. Esto es, para que la política de seguridad vial en carreteras sea eficiente, es necesario elegir las medidas que proporcionen los mejores resultados al problema de seguridad vial con el mínimo de recursos necesarios para su implementación.

Los dos métodos principales para evaluar medidas de seguridad en carreteras son el Análisis Costo-Efectividad (ACE) y el Análisis Costo-Beneficio (ACB). En el método ACE dos o más medidas de seguridad vial pueden ser evaluadas y jerarquizadas en función de sus costos y efectividad en alcanzar un objetivo en particular (reducción de accidentes). La ventaja principal del ACE es que es una técnica simple que se enfoca sobre los efectos en la seguridad, por lo que no requiere de una valuación monetaria de dichos efectos. Sin embargo, dicha técnica tiene la desventaja de que sólo se puede utilizar para la jerarquización de medidas sobre una base común de efectividad (reducción de accidentes, disminución de muertes, reducción de lesiones graves, reducción de lesiones leves, reducción de daños materiales), es decir, en la estimación de la efectividad no es posible considerar simultáneamente diferentes tipos de accidentes (muertes, lesiones graves, lesiones leves y daños materiales).

Por su parte, el método del Análisis Costo-Beneficio (ACB) tiene como objetivo determinar si un proyecto es eficiente económicamente, qué tan eficiente es y si hacer modificaciones en el objetivo pudieran incrementar su eficiencia. En este caso, el resultado de la evaluación se obtiene comparando los costos con los beneficios, ambos expresados en términos monetarios. Cabe señalar que la valuación monetaria de la vida humana que se realiza con esta técnica, continúa siendo controversial y difícil, pero inevitable.

En el caso de la evaluación de acciones específicas para mejorar la seguridad vial, el método del ACB es utilizado mediante el cálculo del indicador Tasa de Retorno del Primer Año (TRPA). La TRPA de un proyecto o medida de seguridad vial se obtiene de la siguiente manera:

$$TRPA = RCAPA * 100 / \text{Costo de implementación de la medida}$$

donde

RCAPA = Reducción en el costo de los accidentes en el primer año de operación de la medida (beneficios)

Si una medida tiene una TRPA menor que la tasa de descuento especificada, quiere decir que no es rentable emprenderla en ese año. La TRPA no proporciona un criterio de evaluación riguroso ya que ignora cualquier tipo de beneficios o costos después del primer año, pero su utilización ha sido defendida en proyectos de muy alta incertidumbre (como los de ingeniería de seguridad vial), debido a que la estimación de los beneficios más allá del primer año es difícil y frecuentemente se obtiene una tasa de retorno de los primeros años muy elevada (superior a 100%), lo cual hace innecesario el uso de un criterio de decisión más sofisticado.

Los resultados del proceso de evaluación permiten jerarquizar las medidas en función de los beneficios que generarían y los costos necesarios para su implementación, de tal forma que bajo el criterio de evaluación aplicado es posible seleccionar la medida que ofrece el más alto nivel de beneficios relativo al costo de implementación, asegurando que la disponibilidad de recursos son utilizados de manera más efectiva.

Los resultados obtenidos de las evaluaciones mostraron que la medida de seguridad denominada “señalamiento”, la cual representa la mejora o colocación de nuevo señalamiento vial, resultó ser más eficiente, así como también la más rentable. Además, dentro de las mejores medidas de seguridad se encuentran combinaciones, donde el señalamiento se encuentra en prácticamente cada combinación.

Con el fin de mejorar la evaluación de la efectividad y rentabilidad de las medidas de seguridad implementadas en las carreteras de México, se recomienda ampliar el periodo del estudio de antes y después de la implementación. Asimismo, otra recomendación importante es incluir en la base de datos las medidas de seguridad implementadas en las autopistas de cuota de México. Este estudio intenta ser una guía para las autoridades encargadas de la formulación de las estrategias de seguridad vial en México.

1 Introducción

1.1. Antecedentes

La seguridad vial en carreteras, como parte de la política nacional de transporte, es un tema prioritario en las agendas de los gobiernos y una de las máximas preocupaciones para la sociedad en general. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, se estima que los accidentes carreteros en el mundo alcanzarán 2.4 millones en 2030 (World Health Statistics, 2008)¹, como consecuencia del incremento esperado de la propiedad y uso de vehículos automotores, asociado al crecimiento económico en los países de nivel bajo y medio del ingreso, lo cual se traduce, en un aumento en el tránsito vehicular en carreteras.

Asimismo, los elevados costos que producen los accidentes carreteros hace prioritario implementar medidas de seguridad que reduzcan de forma significativa la pérdida de vidas humanas, así como los gastos derivados de los recursos materiales dañados o perdidos en los accidentes. En 2007, 5,398 personas murieron y 33,580 resultaron lesionadas en accidentes en las carreteras Federales de México (S.C.T., 2008).

Hoy en día existe gran diversidad de medidas encaminadas a mejorar la seguridad vial en carreteras; sin embargo, los recursos disponibles no son suficientes como para implementar todas las medidas posibles y en todos los puntos referidos como “peligrosos”. Por tanto, es necesario tomar decisiones en relación a qué medidas implementar y en qué lugares específicos. Para ello, es necesario justificar la selección de medidas de seguridad vial a través de la evaluación de sus beneficios y costos o su costo efectividad, de tal forma que con las medidas seleccionadas se maximicen los beneficios en términos de salud pública y se minimicen los costos derivados de los accidentes carreteros.

El presente estudio, presenta una revisión de la metodología empleada para evaluar medidas de seguridad en carreteras. Asimismo, a través del análisis costo-beneficio y costo-efectividad, se identifican las mejores medidas de seguridad vial implementadas en las carreteras mexicanas en los últimos años, en función de sus beneficios netos y de su efectividad en la práctica, en la reducción de accidentes, muertes, lesionados y daños materiales.

¹ Estudios de la Organización Mundial de la Salud revelan que los accidentes carreteros en 2004 fueron causantes de 2.2% de las muertes a nivel mundial, ocupando el lugar 9 de causa de fallecimientos muerte. Para 2030, esta cifra se estima será de 3.6% y ocupará el quinto lugar a nivel mundial (World Health Statistics 2008).

1.2 Objetivo de la investigación

El objetivo principal de este trabajo es evaluar las medidas de seguridad implementadas en carreteras mexicanas mediante el análisis costo-beneficio y el análisis costo-efectividad.

1.2.1 Objetivos específicos

- Describir y analizar los métodos de evaluación de las medidas de seguridad en carreteras.
- Aplicar el análisis costo-beneficio y el análisis costo-efectividad a medidas de seguridad vial implementadas en carreteras mexicanas.
- Identificar las mejores medidas de seguridad implementadas en carreteras mexicanas.

1.3. Alcances

Con el presente estudio, se pretende identificar las mejores medidas de seguridad vial implementadas en las carreteras mexicanas en los últimos años, en función de sus beneficios netos y de su efectividad en la práctica.

Los resultados del proyecto se encuentran sujetos a la disponibilidad de los datos para el análisis costo-beneficio y costo-efectividad de medidas de seguridad vial puestas en marcha en las carreteras mexicanas.

1.4 Metodología

La metodología utilizada consistió en la generación de una base de datos de medidas de seguridad realizadas en las carreteras mexicanas, a partir de los reportes de seguimiento al Programa Nacional de Atención a Puntos de Conflicto del periodo 2001-2005. El siguiente paso consistió en aplicar los métodos Análisis Costo Efectividad (ACE) y el Análisis Costo Beneficio (ACB), con el fin de identificar las mejores medidas de seguridad establecidas en las carreteras mexicanas, en términos de su eficiencia y rentabilidad económica. Asimismo, para la evaluación de las medidas de seguridad mediante el método del ACB, se actualiza el valor Estadístico de la Vida y el valor de un lesionado, con lo que se obtiene el indicador tasa de retorno del primer año (TRPA). Finalmente, se elaboran listados con las mejores medidas de seguridad desde el punto de vista de su efectividad y rentabilidad económica.

1.5 Estructura del reporte

El reporte está organizado de la siguiente forma

En el primer capítulo se presenta la introducción del estudio. En el capítulo 2, se describen las metodologías utilizadas en la evaluación de las medidas de seguridad en carreteras. En el tercero se evalúan las medidas de seguridad y se identifican las más efectivas y rentables. Finalmente, en el cuarto se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio.

2 Metodología para evaluar medidas de seguridad en carreteras

Actualmente, uno de los problemas principales de la política de seguridad vial en carreteras es el proceso de decisión sobre qué medidas se deben implementar para mejorar la seguridad vial, en términos de la reducción de accidentes en carreteras, donde dichas medidas son seleccionadas de un conjunto de medidas de seguridad posibles y disponibles. Para que la política de seguridad vial en carreteras sea eficiente, es necesario seleccionar las más adecuadas que proporcionen los mejores resultados al problema de seguridad vial con el mínimo de recursos necesarios para su implementación.

Es importante señalar que la mejor medida de seguridad vial, no es necesariamente aquella que genera los mayores beneficios, ni tampoco la que requiere de menores costos para su implementación, sino la medida que valorando y comparando de manera conjunta los beneficios y los costos, genere mayores beneficios o mayor efectividad por unidad de inversión.

En general, las decisiones sobre las medidas de seguridad vial por implementar necesitan tomar en cuenta la naturaleza del problema particular de seguridad vial; el conjunto de medidas potenciales, los recursos disponibles y las restricciones físicas o políticas. De estas consideraciones, resulta clave identificar las medidas útiles, es decir, las que generarían una posible solución al problema de seguridad vial, debido a que del conjunto de medidas disponibles, se seleccionará una por medida a implementar. Una vez identificadas éstas, se procede a evaluarlas considerando los efectos pronosticados (incluyendo los beneficios esperados tales como la reducción de accidentes, así como también los efectos adversos como incremento en la contaminación o aumento en el tiempo de viaje), las posibles variaciones de los efectos con el paso del tiempo y el costo de implementación.

Por último, los resultados del proceso de evaluación permiten jerarquizar las medidas en función de los beneficios que generarían y los costos necesarios; de tal forma que bajo el criterio de evaluación aplicado es posible seleccionar la medida que ofrece el más alto nivel de beneficios relativo al costo de implementación, asegurando que la disponibilidad de recursos sean utilizados de la manera más efectiva.

Los dos métodos principales para evaluar medidas de seguridad en carreteras son el Análisis Costo Efectividad (ACE) y el Análisis Costo Beneficio (ACB).

2.1 Análisis costo efectividad ACE

En el Análisis Costo-Efectividad (ACE) dos o más medidas de seguridad vial pueden ser evaluadas y jerarquizadas en función de sus costos y efectividad en alcanzar un objetivo en particular (reducción de accidentes). La combinación de efectividad y costos ayuda a determinar:

- Qué medida de seguridad genera un determinado nivel de efectividad al mínimo costo
- Qué programa de seguridad vial proporciona el más alto nivel de efectividad para un determinado costo total.

A diferencia del Análisis Costo-Beneficio (ACB), el ACE expresa los beneficios en impactos físicos (reducción de accidentes) y no en términos monetarios.

Para poder evaluar la efectividad de una medida de seguridad en carreteras, el objetivo de ésta tiene que ser previamente definido, así como también la cuantificación de su éxito (reducción de la severidad de los accidentes, reducción de accidentes de motocicletas, etc.). Así, los impactos de la medida sobre el objetivo previamente determinado deben evaluarse (en términos físicos). Por ejemplo, la cantidad de accidentes que pueden ser evitados mediante la implementación de cada una de las medidas. A continuación, el impacto total estimado de cada medida es comparado con el costo de implementación de las mismas. De esta forma, los impactos totales son expresados por unidad de costo de implementación (la cantidad de accidentes que pueden ser evitados por unidad de costo de implementación). Lo anterior permite comparar beneficios no expresados en términos monetarios con costos monetarios.

Además de los costos de implementación de una medida de seguridad vial, el costo total del proyecto incluye costos de operación y mantenimiento que ocurrirán a lo largo del horizonte del proyecto. Al igual que un ACB, los costos presentes y futuros deben ser descontados para poder ser comparados en un año base. Finalmente, una vez que los costos y los impactos de las medidas de seguridad han sido estimados, éstos pueden ser combinados para estimar el costo-efectividad de un proyecto a través de un cociente, como se muestra en la siguiente ecuación (ROSEBUD, 2004):

$$CCE = E / C \quad (1)$$

donde CCE = Cociente costo-efectividad

E = Efectividad del proyecto

C = Costo total del proyecto

El CCE indica las unidades de efectividad que son obtenidas por cada unidad de costo en que se incurre. Un mayor valor del CCE indicará mayor efectividad de una determinada medida de seguridad. Por ejemplo, el Costo Efectividad de una medida de seguridad en particular puede obtenerse calculando el siguiente cociente

$$\text{Costo Efectividad} = \frac{\text{Cantidad de accidentes prevenidos}}{\text{Costos de implementación}} \quad (2)$$

Así, los datos necesarios para estimar el Costo Efectividad de una medida son: los costos de implementación y la cantidad estimada de accidentes, muertes o lesionados evitados con la medida de seguridad.

La ventaja principal del Costo Efectividad es ser una técnica simple que se enfoca sobre los efectos en la seguridad, por lo que no requiere de una valuación monetaria. Sin embargo, este método tiene la desventaja, de que sólo se puede utilizar para la jerarquización de medidas, ya que no considera las relaciones con otros objetivos de políticas y no es posible considerar simultáneamente diferentes tipos de accidentes (lesiones graves y leves, daños materiales).

2.2 Análisis costo beneficio ACB

El Análisis Costo-Beneficio (ACB) tiene como objetivo determinar si un proyecto es económicamente eficiente y qué tan eficiente es (y si modificaciones en el objetivo pudieran incrementar su eficiencia). Entre las medidas de eficiencia más utilizadas se encuentran (ROSEBUD, 2005)

1. El Valor Presente Neto del Proyecto VPN
2. La Relación Beneficio-Costo RBC
3. La Tasa Interna de Retorno TIR.

EL VPN de un proyecto se define como la diferencia entre el valor monetario de todos los beneficios de una posible medida de seguridad y el valor de todos los costos necesarios para su implementación, ambos descontados por una tasa de descuento.

La Relación Beneficio-Costo de una medida de seguridad vial se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{RBC} = \text{VPN de todos los beneficios} / \text{VPN de los costos de implementación} \quad (3)$$

donde: RBC = Relación Beneficio-Costo

VPN = Valor Presente Neto

Un mayor valor de la RBC indicará mayores beneficios en relación con los costos de implementación de una determinada medida de seguridad. A su vez, la TIR se define como la tasa de interés que hace al VPN igual a cero, la cual se compara con una tasa de descuento de referencia y si es mayor a ésta, resulta conveniente realizar la inversión en dicha medida.

Uno de los mayores problemas del ACB es obtener válidos y confiables valores monetarios de todos los efectos o beneficios relevantes.

Así, la evaluación económica de las medidas de seguridad en carreteras utilizando el análisis costo-beneficio se basa en la valuación de los costos incurridos como resultado de accidentes carreteros (muertes, lesionados y daños materiales). Evitar dichos costos, representa beneficios económicos de las medidas de seguridad. Por tanto, la relación beneficio-costos, como se muestra en la siguiente ecuación, representa la ventaja económica de las medidas de seguridad.

$$\text{Relación Beneficio Costo} = \frac{\text{Valor Presente de los Beneficios}}{\text{Valor Presente de los Costos}} \quad (4)$$

Esta técnica es particularmente útil cuando existen múltiples objetivos de política o cuando dichos objetivos de política están en conflicto. Entre los datos requeridos para estimar la RBC se encuentran: los costos de implementación de la medida de seguridad, así como los costos de los accidentes evitados (beneficios) en términos de muertes, lesionados y daños materiales y otros efectos cuantificables (medio ambiente, tiempo de viaje, operación de los vehículos, etc.). Es decir, tanto los costos como los beneficios expresados en valores monetarios.

En el caso de las acciones específicas para mejorar la seguridad vial, frecuentemente se utiliza la tasa de retorno del primer año (TRPA). La TRPA de un proyecto o medida de seguridad vial se obtiene de la siguiente manera

$$\text{TRPA} = \text{RCAPA} * 100 / \text{Costo de implementación de la medida} \quad (5)$$

donde

RCAPA = Reducción en el costo de los accidentes en el primer año de operación de la medida (beneficios)

Si una medida tiene una TRPA menor que la tasa de descuento especificada, quiere decir que no es rentable emprenderla en ese año. La TRPA no proporciona un criterio de evaluación riguroso ya que ignora cualquier tipo de beneficios o

costos después del primer año, pero su utilización ha sido defendida en proyectos de muy alta incertidumbre (como son los de ingeniería de seguridad vial) sobre la base de que en éstos:

1. La estimación de los beneficios más allá del primer año es difícil
2. Frecuentemente se obtiene una tasa de retorno de los primeros años muy elevada (superior a 100%), lo cual hace innecesario el uso de un criterio de decisión más sofisticado.

La TRPA es un índice que proporciona, más que una técnica de evaluación económica rigurosa, un medio grueso para jerarquizar proyectos (Ogden, 1996).

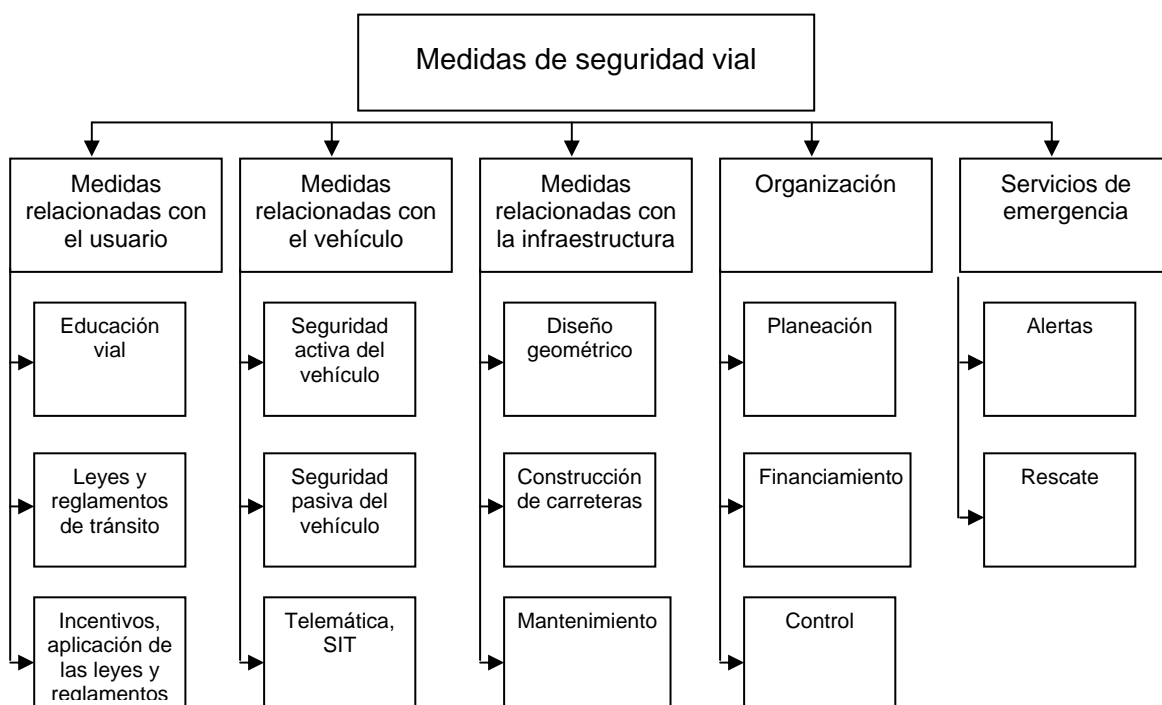
Uno de los mayores problemas del ACB es obtener valores monetarios válidos y confiables de los efectos o beneficios relevantes. Por tanto, es importante distinguir entre un análisis costo-efectividad (ACE) y un análisis costo-beneficio (ACB). En el primer caso, el costo de implementar una medida de seguridad es comparado con sus efectos, donde los efectos de las medidas no son expresados en términos monetarios. En el caso del análisis costo-beneficio, el resultado de la evaluación se obtiene comparando los costos con los beneficios, ambos expresados en términos monetarios.

Por tanto, la principal ventaja del ACB, en relación con el ACE, es que permite la comparación directa de los costos y beneficios. Cabe señalar que la valuación monetaria de la vida humana que se realiza con esta técnica, continúa siendo controversial y difícil, pero inevitable. En general, la valuación de los accidentes resulta compleja, ya que éstos generan diversidad de impactos sobre las personas y las organizaciones, entre los que se encuentran

- Costos médicos y hospitalarios
- Pérdida de producto interno bruto futuro
- Dolor, pena y sufrimiento
- Pérdidas materiales
- Costos policiales y de servicios de rescate
- Seguros
- Costos legales

Por otra parte, la evaluación de las medidas de seguridad en carreteras se puede categorizar en función de su enfoque como se ilustra en el siguiente diagrama

Figura 1. Categorización de las medidas de seguridad en carreteras



Fuente: Thematic Network. The European Commission, 2003.

En este estudio, se analizarán y evaluarán las medidas relacionadas con la infraestructura, tendientes a reducir accidentes y mejorar la seguridad en las carreteras.

2.3 Valuación estadística de la vida

Un estudio reciente realizado por la “International Road Assessment Programme” (iRAP, 2008) obtiene, mediante un análisis de regresión lineal, el valor estadístico de la vida en función del ingreso y del método de estimación empleado, donde se distinguen dos métodos principales para estimar el valor estadístico de la vida: el de la disposición a pagar y el del capital humano como pérdida del producto. Para el presente estudio, se emplea el método del capital humano o método de producción bruta. Lo anterior se debe a que en México no se tienen disponibles estudios confiables sobre la valuación estadística de la vida utilizando el método de la disposición a pagar por evitar accidentes carreteros.

Así, se tiene que el valor estadístico de la vida se determina mediante la siguiente ecuación estimada por la iRAP

$$\text{LOG (VEV)} = 2.519 + 1.125 * \log (\text{PIB per cápita}) + 0.496*(\text{Método}) \quad (6)$$

donde

VEV = Valor Estadístico de la Vida

PIB per cápita = Producto Interno Bruto por habitante

Método = 1 si se utiliza el método de la disposición a pagar o 0 si se utiliza el método del capital humano como pérdida del producto.

Cabe señalar que la estimación de la ecuación anterior, mediante la técnica de regresión lineal múltiple generó un coeficiente de determinación ajustado del 97% .

En 2007, el INEGI reportó un Producto Interno Bruto nacional de \$10,739,617 millones de pesos, mientras que la CONAPO estimó una población nacional de 106,682,518 habitantes. Asimismo, el Banco de México registró el tipo de cambio de \$11.14 por dólar. Por tanto, sustituyendo dichos valores en la ecuación (6), el Valor Estadístico de la Vida para el caso de México para el año 2007 es

$$\text{Log (VEV)} = 2.519 + 1.125 * \log (7,122)$$

$$\text{VEV} = \exp (2.519 + 1.125 * \log (7,122)) = \text{US\$ } 362,445$$

Asimismo, la “International Road Assessment Programme” recomienda como aproximación razonable considerar que el valor de un lesionado es equivalente al 25% del Valor Estadístico de la Vida. Por consiguiente, para el caso de México se tiene que para 2007, el valor de un lesionado es de aproximadamente US \$90,611.

3 Análisis costo-beneficio y análisis costo-efectividad de medidas de seguridad vial implementadas en carreteras mexicanas

Para llevar a cabo el análisis costo-beneficio y el análisis costo-efectividad de medidas de seguridad vial implementadas en carreteras mexicanas, se generó una base de datos a partir de los reportes de seguimiento al Programa Nacional de Atención a Puntos de Conflicto del periodo 2001-2005. Dichos reportes contienen estudios de “antes y después” de la implementación de mejoras o medidas de seguridad vial para el periodo de un año para atender puntos de conflicto del Programa Nacional de Atención a Puntos de Conflicto, de la Red Carretera Federal Libre. Es decir, la cantidad de accidentes, muertos, heridos y pérdidas materiales generadas por accidentes, un año antes y un año después de la implementación de las medidas de seguridad vial. Asimismo, el reporte proporciona información sobre la ubicación, el tipo de punto peligroso, el tipo de mejora, la fecha de puesta en operación de tal mejora y el costo real de la obra.

Asimismo, utilizando el Valor Estadístico de la Vida y el valor de un lesionado, calculados anteriormente, se calculan tanto el costo de efectividad como la Relación Beneficio Costo de medidas de seguridad vial implementadas en carreteras mexicanas, en general y por tipo de medidas de seguridad.

La base de datos, para los fines de cómputo y análisis de este trabajo, se integró con información completa de 421 sitios conflictivos en la Red Carretera Federal, mejorados dentro del Programa Nacional de Atención a Puntos de Conflicto durante el período 2001-2005. Con base en los 421 sitios conflictivos considerados, la Tabla 1 sintetiza los tipos de mejora implementados en cada tipo de sitio conflictivo.

Utilizando las estadísticas de accidentes, los costos de implementación de las medidas de seguridad, los valores estadísticos de la vida y del lesionado, se calcularon tanto el CCE como la TRPA para cada sitio. Por restricciones de información disponible, ambos índices anteriores fueron determinados para estimar el efecto en el año posterior a la puesta de operación de la medida.

Tabla 1. Distribución de frecuencias de tipos de mejora por tipos de sitios conflictivos

Tipo de sitio conflictivo / Tipo de mejora	Curva	Tramo	Entronque	Punto	Retorno	Acceso	Cruce a nivel	Otros
Señalamiento	59	33	15	5	3	2	2	5
Entronque	1	2	36	0	0	0	0	1
Superficie de rodamiento	6	0	0	0	0	0	0	1
Alineamiento	7	1	0	0	0	0	0	0
Curvas	56	0	0	0	0	0	0	0
Combinación de las anteriores	55	44	17	1	4	1	3	61
Total	184	80	68	6	7	3	5	68

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de las evaluaciones de medidas de seguridad se presentan en las tablas 2 a 4, las cuales muestran las 15 mejores medidas de seguridad en términos de su Costo Efectividad y Beneficio Costo, donde los costos y beneficios se expresan en dólares de 2007.

La tabla 2 señala las 15 mejores medidas de seguridad en función de la cantidad de accidentes evitados por cada millón de dólares invertido en la implementación de la medida de seguridad. Las tablas 3 y 4 indican las mejores medidas en función de la cantidad de muertes y heridos evitados, respectivamente, por cada millón de dólares invertido en la implementación de la medida de seguridad. Finalmente, la tabla 5 muestra las 15 mejores medidas de seguridad en función del análisis Beneficio Costo, utilizando la tasa de retorno del primer año.

Tabla 2. Jerarquización de medidas de seguridad con base en el Costo Efectividad en la reducción de accidentes

Tipo de punto de conflicto	Propuesta de solución	Costo real de la obra (dólares de 2007)	Reducción de accidentes	Reducción de muertos	Reducción de heridos	Reducción de daños materiales (dólares de 2007)	Accidentes/ costos de la medida en millones de dólares de 2007	Muertos/ costos de la medida en millones de dólares de 2007	Heridos/ costos de la medida en millones de dólares de 2007	Beneficios (dólares de 2007)	RBC
Tramo	Señalamiento	3,539	18	6	21	51,677	5,085.78	1,695.26	5,933.41	4,129,180	1166.67
Tramo	Semaforización y señalamiento	23,801	68	8	-19	55,800	2,857.01	336.12	-798.28	1,233,746	51.84
Retorno	Señalamiento y modificación de acceso	8,152	21	3	14	26,902	2,576.13	368.02	1,717.42	2,382,793	292.30
Cruce a nivel	Señalamiento	1,609	3	0	0	3,171	1,864.25	0.00	0.00	3,171	1.97
Tramo	Señalamiento	1,093	2	1	4	2,460	1,829.12	914.56	3,658.24	727,350	665.21
Curva	Señalamiento	1,108	2	0	0	2,351	1,805.00	0.00	0.00	2,351	2.12
Curva horizontal	Señalamiento	1,853	3	0	0	2,460	1,619.41	0.00	0.00	2,460	1.33
Entronque	Señalamiento	2,186	3	0	-2	754	1,372.52	0.00	-915.01	-180,468	-82.57
Tramo	Señalamiento	7,322	10	-2	-10	-2,652	1,365.74	-273.15	-1,365.74	-1,633,653	-223.11
Tramo	Señalamiento	6,040	8	0	2	11,778	1,324.57	0.00	331.14	193,001	31.96
Tangente	Señalamiento	17,157	21	0	20	12,563	1,223.98	0.00	1,165.70	1,824,787	106.36
Tramo	Protección de retornos evitando accesos directos de vías secundarias	7,654	9	4	10	1,367	1,175.86	522.61	1,306.52	2,357,258	307.98
Tramo	Reductores de velocidad y señalamiento	6,179	7	-1	11	18,102	1,132.89	-161.84	1,780.26	652,380	105.58
Tangente a nivel y zona urbana	Dispositivos para el control de tránsito	2,684	3	1	0	1,667	1,117.73	372.58	0.00	364,112	135.66
Tramo	Señalamiento y reductores de velocidad	7,205	8	-1	5	24,055	1,110.38	-138.80	693.99	114,666	15.92

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Jerarquización de medidas de seguridad con base en el Costo Efectividad en la reducción de muertos

Tipo de punto de conflicto	Propuesta de solución	Costo real de la obra (dólares de 2007)	Reducción de accidentes	Reducción de muertos	Reducción de heridos	Reducción de daños materiales (dólares de 2007)	Accidentes/ costos de la medida en millones de dólares de 2007	Muertos/ costos de la medida en millones de dólares de 2007	Heridos/ costos de la medida en millones de dólares de 2007	Beneficios (dólares de 2007)	RBC
Tramo	Señalamiento	4,363	2	10	-2	18,123	458.40	2,291.98	-458.40	3,461,348	793.33
Tramo	Señalamiento	3,539	18	6	21	51,677	5,085.78	1,695.26	5,933.41	4,129,180	1166.67
Tramo	Señalamiento	1,093	2	1	4	2,460	1,829.12	914.56	3,658.24	727,350	665.21
Tramo	Reductores de velocidad y señalamiento	6,933	5	5	0	5,178	721.18	721.18	0.00	1,817,402	262.13
Entronque	Señalamiento	12,623	2	7	0	8,086	158.44	554.53	0.00	2,545,199	201.63
Curva	Señalamiento	1,804	1	1	4	2,515	554.28	554.28	2,217.12	727,404	403.19
Curva	Sobreelevación y ampliación	9,136	6	5	0	13,350	656.78	547.31	0.00	1,825,574	199.83
Tramo	Protección de retornos evitando accesos directos de vías secundarias	7,654	9	4	10	1,367	1,175.86	522.61	1,306.52	2,357,258	307.98
Zona urbana	Señalamiento	4,065	2	2	5	2,819	491.96	491.96	1,229.89	1,180,764	290.44
Punto	Señalamiento	4,336	3	2	0	7,775	691.85	461.24	0.00	732,664	168.97
Tangente a nivel y zona urbana	Dispositivos para el control de tránsito	2,684	3	1	0	1,667	1,117.73	372.58	0.00	364,112	135.66
Retorno	Señalamiento y modificación de acceso	8,152	21	3	14	26,902	2,576.13	368.02	1,717.42	2,382,793	292.30
Tramo	Semaforización y señalamiento	23,801	68	8	-19	55,800	2,857.01	336.12	-798.28	1,233,746	51.84
Curva	Señalamiento	10,713	7	3	12	56,009	653.44	280.04	1,120.17	2,230,678	208.23
Curva	Señalamiento	10,917	1	3	2	162	91.60	274.81	183.20	1,268,719	116.22

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Jerarquización de medidas de seguridad con base en el Costo Efectividad en la reducción de lesionados

Tipo de punto de conflicto	Propuesta de solución	Costo real de la obra (dólares de 2007)	Reducción de accidentes	Reducción de muertos	Reducción de heridos	Reducción de daños materiales (dólares de 2007)	Accidentes/ costos de la medida en millones de dólares de 2007	Muertos/ costos de la medida en millones de dólares de 2007	Heridos/ costos de la medida en millones de dólares de 2007	Beneficios (dólares de 2007)	RBC
Tramo	Señalamiento	3,539	18	6	21	51,677	5,085.78	1,695.26	5,933.41	4,129,180	1166.67
Tramo	Señalamiento	1,093	2	1	4	2,460	1,829.12	914.56	3,658.24	727,350	665.21
Curva	Señalamiento	1,804	1	1	4	2,515	554.28	554.28	2,217.12	727,404	403.19
Tramo	Reductores de velocidad y señalamiento	6,179	7	-1	11	18,102	1,132.89	-161.84	1,780.26	652,380	105.58
Retorno	Señalamiento y modificación de acceso	8,152	21	3	14	26,902	2,576.13	368.02	1,717.42	2,382,793	292.30
Curva	Señalamiento	1,755	1	0	3	2,734	569.69	0.00	1,709.06	274,567	156.42
Tramo	Protección de retornos evitando accesos directos de vías secundarias	7,654	9	4	10	1,367	1,175.86	522.61	1,306.52	2,357,258	307.98
Zona urbana	Señalamiento	4,065	2	2	5	2,819	491.96	491.96	1,229.89	1,180,764	290.44
Tangente	Señalamiento	17,157	21	0	20	12,563	1,223.98	0.00	1,165.70	1,824,787	106.36
Curva	Señalamiento	10,713	7	3	12	56,009	653.44	280.04	1,120.17	2,230,678	208.23
Tramo	Señalamiento	3,602	3	0	3	-1,024	832.78	0.00	832.78	270,810	75.18
Tramo	Señalamiento	8,787	6	0	7	5,285	682.81	0.00	796.61	639,563	72.78
Tangente y entronques	Semaforización y señalamiento	100,850	76	6	73	43,804	753.59	59.49	723.84	8,833,090	87.59
Tramo	Señalamiento y reductores de velocidad	7,205	8	-1	5	24,055	1,110.38	-138.80	693.99	114,666	15.92
Tramo a nivel	Defensas laterales y señalamiento	13,335	5	3	9	59,957	374.96	224.97	674.92	1,962,793	147.19

Fuente: Elaboración propia.

De las tablas anteriores, es posible identificar las mejores medidas de seguridad puestas en marcha en las carreteras mexicanas, en términos de su eficiencia y rentabilidad económica. En general, la medida de seguridad denominada “señalamiento”, que representa la mejora o colocación de nuevo señalamiento vial; ésta resultó ser la medida de seguridad más eficiente, así como también la más rentable.

Después del señalamiento, la medida de seguridad que resultó más efectiva para la reducción de muertes en accidentes, fue la colocación de reductores de velocidad complementados con señalamiento. Asimismo, después del señalamiento, la que resultó más rentable desde el punto de vista del Análisis Costo-Beneficio, fueron las medidas de seguridad encaminadas a la protección de retornos, evitando accesos directos de vías secundarias, seguido muy de cerca por la modificación de accesos, ambas medidas complementadas con señalamiento.

Con los resultados obtenidos, es posible identificar aquellas medidas que resultaron ser las más exitosas para el mejoramiento de la seguridad vial en carreteras, de tal forma que proporciona un listado de los casos específicos que merecen ser estudiados a detalle para determinar la clave del éxito de dichas medidas en comparación con otras de similares características.

4 Conclusiones y recomendaciones

Los dos métodos principales para evaluar medidas de seguridad en carreteras son el Análisis Costo Efectividad (ACE) y el Análisis Costo Beneficio (ACB). En el ACE, dos o más medidas de seguridad vial pueden ser evaluadas y jerarquizadas en función de sus costos y efectividad en alcanzar un objetivo en particular (ej. reducción de accidentes). Por tanto, esta metodología permite conocer aquellas medidas de seguridad que proporcionan el más alto nivel de efectividad en la reducción de accidentes por unidad de costo invertido en la implementación. A diferencia del Análisis Costo-Beneficio, el ACE expresa los beneficios en impactos físicos (reducción de accidentes) y no en términos monetarios.

Asimismo, para poder evaluar los beneficios de las medidas de seguridad en carreteras a través de la evaluación económica utilizando el ACB, es necesario valorar el costo de una vida y de lesionados como causa de accidentes, ya que el evitar dichos costos, representa beneficios económicos de medidas de seguridad.

Así, el ACB permite la comparación directa de los costos y beneficios. Sin embargo, la valuación monetaria de la vida humana que se realiza con esta técnica, continúa siendo controversial y difícil, pero inevitable.

En este estudio, se evaluaron las medidas de seguridad pertenecientes al Programa Nacional de Atención a Puntos de Conflicto, implementadas en la Red Carretera Federal Libre durante el periodo 2001-2005. Para ello, se estimó el valor Estadístico de la Vida y el valor de un lesionado, utilizando el método del capital humano y el modelo de la "International Road Assessment Programme (iRAP)", obteniéndose para el caso de México, un valor de US\$ 288,691 (\$ 3,146,733 pesos de 2007) y US \$72,173 (\$ 786,683 pesos de 2007), respectivamente.

Los resultados obtenidos de las evaluaciones mostraron que la medida de seguridad denominada "señalamiento", representa la mejora o colocación de nuevo señalamiento vial, pues resultó ser la medida de seguridad más eficiente, así como también la más rentable.

En particular, las medidas que resultaron más efectivas para la reducción de muertes en accidentes, fueron además del mejoramiento o colocación de señalamiento, los reductores de velocidad complementados con señalamiento.

Asimismo, entre las medidas más rentables desde el punto de vista del Análisis Costo-Beneficio, además del mejoramiento o colocación de señalamiento, fueron las encaminadas a la protección de retornos con el fin de evitar accesos directos de vías secundarias, seguido muy de cerca por la modificación de accesos, ambas medidas complementadas con señalamiento.

Con los resultados obtenidos, es posible identificar aquellas medidas que resultaron ser las más exitosas para el mejoramiento de la seguridad vial en carreteras, de tal forma que proporciona un listado de los casos específicos que merecen ser estudiados a detalle para determinar la clave del éxito de dichas medidas en comparación con otras de similares características.

Con el fin de mejorar la evaluación de la efectividad y rentabilidad de las medidas de seguridad implementadas en las carreteras de México, se recomienda ampliar el periodo del estudio de antes y después de la implementación. Asimismo, otra recomendación importante es incluir en la base de datos las medidas de seguridad en las autopistas de cuota de México. Finalmente, se sugiere estudiar aquellas medidas que resultaron ser las más eficientes y rentables para determinar los motivos de su éxito en el mejoramiento de la seguridad vial en las carreteras mexicanas.

Bibliografía

Castaño Yepes, R. A., *Análisis de costo-efectividad: una herramienta para la toma de decisiones de política en el sector salud*, Revista CES-Medicina, No. 2, 1998, World Health Statistics, 2008, <http://www.who.int/en/>.

European Transport Safety Council (ETSC), *Cost-effective EU transport safety measures*, Bruselas, 2003.

Giles, M. (2003), The Cost of Road Crashes: A Comparison of Methods and Recent Australian Estimates. *Journal of Transport Economics and Policy*. Vol 37, Parte 1, enero 2003, pp 95-110.

McMahon, K. and S. Dahdah, (2008), *The True Cost of Road Crashes, Valuing Life and the Cost of Serious Injury*, International Road Assessment Programme, www.irap.net.

Mendoza Díaz, A, Quintero Pereda, F y Mayoral Grajeda, E. (2003), *Seguridad vial en carreteras*, Publicación Técnica No. 224, Instituto Mexicano del Transporte.

Nicholson, A. J. (1987), The estimation of accident rates and counter measure effectiveness, *Traffic Engineering and Control* 28(9): 518-523.

Ogden, K. W. (1996), *Safer roads: a guide to road safety engineering*, Avebury Technical.

Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness for Use in Decision-Making, *Screening of efficiency assessment experiences, Report "State of the art"*, ROSEBUD, Funded by the European Commission, 2003.

Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness, Analysis for Use in Decision-Making, *Barriers to the use of efficiency assessment tools in road safety policy*,. ROSEBUD, Funded by the European Commission, 2004.

Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making, *Efficiency Assessment Tools: Solutions to Barriers*, ROSEBUD, Funded by the European Commission, 2004.

Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making, *Testing the efficiency assessment tools on selected road safety measures*, Funded by the European Commission, 2005.

Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making, *Recommendations*, ROSEBUD, Funded by the European Comisión, 2005.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, *Segundo Informe de Labores 2008*, <http://portal.sct.gob.mx>.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, *Evaluación de la efectividad de las mejoras realizadas a la infraestructura, mediante el Programa Nacional de Atención a Puntos de Conflicto 2001-2005*, Subsecretaria de Infraestructura. Dirección General de Servicios Técnicos, S.C.T.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, *Manual de procedimiento para el programa nacional de atención a puntos de conflicto*, Subsecretaria de Infraestructura, Dirección General de Servicios Técnicos, S.C.T.



CIUDAD DE MÉXICO

Av. Nuevo León 210
Col. Hipódromo Condesa
CP 06100, México, D F
Tel +52 (55) 52 653600
Fax +52 (55) 52 653600

SANFANDILA

Carretera Querétaro-Galindo km 12+000
CP 76700, Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 9777
Fax +52 (442) 216 9671

www.imt.mx
publicaciones@imt.mx