



METODOLOGÍA SIMPLIFICADA DE ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS SOCIALES POR DISMINUCIÓN DE ACCIDENTES EN PROYECTOS DE VIALIDAD INTERURBANA

Secretaría de Planificación del Transporte

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones

Departamento de Metodologías / División Planificación, Estudios e Inversiones

Ministerio de Planificación

Mayo, 2011

INDICE

INTRODUCCIÓN	4
Objetivos	5
Alcances de la metodología	5
ENFOQUE METODOLÓGICO	8
Componentes metodológicos	9
Etapas de análisis	10
TIPOLOGÍA DE PROYECTOS DE SEGURIDAD	13
Proyectos de infraestructura vial con efectos en la seguridad	14
Proyectos de seguridad vial	16
ESTIMACIÓN DE TASAS Y REDUCCIÓN DE ACCIDENTES SEGÚN TIPOLOGÍA DE PROYECTOS	17
Tipologías de caminos, tipos de accidentes y lesionados	17
Accidentabilidad: estimaciones	17
ESTIMACIÓN DE ACCIDENTABILIDAD EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL CON SEGURIDAD	29
Situación Sin Proyecto	29
Situación Con Proyecto	30
ESTIMACIÓN DE ACCIDENTABILIDAD EN PROYECTOS DE SEGURIDAD VIAL	32
Individualización de los sectores relevantes	32
Situación Sin Proyecto	33
Situación Con Proyecto	35
COSTOS SOCIALES POR ACCIDENTES	43
Estimación de costos de accidentabilidad	43
Valoración de costos de accidentabilidad a precios sociales	48
Precios sociales	53
ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS	54
Proyectos de infraestructura vial con efectos en la seguridad	54
Proyectos de seguridad vial	55
COSTOS DE INVERSIÓN	56
ANÁLISIS DE RENTABILIDAD Y COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	59
Indicadores de rentabilidad	59
Priorización de proyectos	61
Momento óptimo de inicio	62
Tamaño y localización óptima	64
CONSIDERACIONES FINALES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
APLICACIÓN METODOLOGÍA RUTA T-85, LAGO RANCO - CALCURRUPE	69

Nota: Documento elaborado sobre la base del estudio “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”, realizado por CIMA Ingenieros; re-edición elaborada por Pelayo Ugarte, profesional de SECTRA y Fernando Britos, del Departamento Metodologías de la División Planificación, Estudios e Inversiones de MIDEPLAN. Se agradecen los comentarios de los profesionales Alan Thomas y Verónica García, de SECTRA, Alejandro Rivas y Oscar Saavedra, del Departamento Inversiones y Edgardo Mimica, Viviana Espinoza y Jaime Artigas, del Departamento Metodologías, ambos de la División Planificación, Estudios e Inversiones de MIDEPLAN.

INTRODUCCIÓN

La evaluación social de proyectos es una herramienta fundamental para apoyar la toma de decisiones de inversión, particularmente en proyectos de infraestructura de transporte de uso público. La experiencia nacional desde hace ya más de 30 años muestra que se ha ido evolucionando hacia metodologías más rigurosas que incorporan mejor información, uso de modelos estadísticos, mejor capacidad de predicción y mejor base teórica que, en su conjunto permiten obtener resultados más confiables. Al mismo tiempo se ha ido aumentando el número y tipo de proyectos de inversión que son materia de evaluación social.

Los proyectos de inversión en vialidad interurbana se encuentran posiblemente entre los más elevados en inversión con fondos públicos y privados y, sin duda, representan la mayor asignación de recursos del Ministerio de Obras Públicas (MOP). En la evaluación social de estos proyectos se han considerado históricamente ahorros de recursos básicamente en operación de vehículos y tiempo de usuarios.

Sin embargo, la experiencia internacional, expresada en múltiples publicaciones y manuales de evaluación, muestra que los beneficios por concepto de mejoras en la seguridad vial, pueden ser decisivos en la selección de proyectos, particularmente con los valores de accidentes utilizados en el mundo desarrollado. Así mismo, la experiencia nacional en los escasos estudios metodológicos realizados (p. ej. Jofré, 1981; González y Jofré, 1982) muestra que los proyectos que mejoran las características viales, ya sea la carpeta de rodadura, la geometría o la capacidad pueden producir un efecto significativo en la disminución de la accidentabilidad. A pesar de lo señalado, los impactos económicos y sociales de los accidentes no se han considerado históricamente en la toma de decisiones en materia de proyectos viales en nuestro país, debido fundamentalmente a que se trata de un fenómeno poco estudiado y que se tiene poca experiencia en la validación de los resultados.

Atento a lo expuesto y si bien es cierto que en los últimos años se han llevado a cabo diversos avances en la incorporación de la accidentabilidad en los proyectos de transporte, hasta la fecha no se disponía de una metodología de valoración socioeconómica de los beneficios de los proyectos de seguridad. En este sentido, la metodología desarrollada contribuye a mejorar la toma de decisiones de inversión en los proyectos de vialidad interurbana y debiera fijar un antecedente para su generalización hacia otros proyectos del sector transporte. El documento se basa en el estudio *“Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”*, de CIMA Ingenieros, contratado por MIDEPLAN y SECTRA con el objetivo de desarrollar una metodología de estimación de impactos y valorización social de accidentes en proyectos viales de transporte interurbano.

I. OBJETIVOS

Esta metodología tiene como objetivo general especificar los procedimientos y etapas necesarias para evaluar socio-económicamente los impactos de proyectos viales sobre los niveles de seguridad en el tránsito, sobre la base de estimar la variación del número de accidentes entre la situación base y las situaciones con proyecto, y posteriormente valorar económicamente dicha variación, durante el período de vida útil del proyecto. De esta manera, el análisis clásico de la rentabilidad de un proyecto vial interurbano, podrá ser complementado con el análisis de los impactos sociales netos de la accidentabilidad de los proyectos.

Aún cuando en una primera etapa la metodología de evaluación tendrá un alcance limitado, su desarrollo y ampliación, así como la experiencia que se acumule con su utilización, permitirán a futuro:

- Mejorar la evaluación de proyectos de vialidad interurbana, al integrar los efectos sobre la seguridad en la toma de decisiones de inversión.
- Contribuir a seleccionar los mejores proyectos viales, considerando en el diseño de ingeniería y la selección de dispositivos, su impacto sobre la seguridad.
- Ayudar a seleccionar las mejores medidas, tecnologías y dispositivos que contribuyen a reducir la accidentalidad.
- Detectar las falencias en las bases de datos de accidentes y de información complementaria que permitan mejorar la capacidad de predicción de impactos en las tasas de accidentes.
- Disponer de una estimación de costos de proyectos de seguridad vial necesarios para estimar rentabilidades
- Incorporar a los tomadores de decisiones en el proceso de mejorar las condiciones de seguridad vial.
- Presentar el enfoque metodológico general para evaluar proyectos incluyendo la base conceptual.
- Presentar las diferentes etapas que componen el desarrollo metodológico.

II. ALCANCES DE LA METODOLOGÍA

Un primer alcance general tiene relación con el hecho de que la ocurrencia de accidentes en el tránsito corresponde a un fenómeno aleatorio, de baja ocurrencia y que puede -en ese mismo carácter- mostrar variaciones importantes en el tiempo. Esto hace que la capacidad de predicción de la ocurrencia de accidentes y sus

consecuencias presente un grado de confiabilidad, inferior a otros fenómenos propios del análisis de sistemas de transporte¹.

Otros aspecto que limita el alcance de la metodología tiene que ver con la calidad de la información de accidentes y de características viales disponibles en el país; en general, la calidad de la información es baja en diversos aspectos que son esenciales para obtener mejores resultados en los análisis de tasas de accidentes, construcción de modelos y capacidad de predicción de la ocurrencia de accidentes bajo distintas circunstancias. Por ejemplo, la información de características viales no considera variables geométricas, como curvatura horizontal o vertical, lo cual impide construir modelos que consideren este aspecto que, sin duda, influye en la ocurrencia de accidentes. Las bases de datos de accidentes presentan problemas frecuentes: en la localización del accidente, en la maniobra realizada previo al accidente y otros, que deben mejorarse para generar mejores modelos y poder tener un mejor diagnóstico de la causalidad de accidentes (importante para identificar medidas específicas de seguridad). Este aspecto limita la capacidad de la presente metodología, particularmente en la predicción de impactos de los proyectos de seguridad y el nivel de desagregación con el que se puede trabajar².

Por otra parte, los estudios de transporte se pueden clasificar, según su alcance, en estudios estratégicos, estudios tácticos y estudios de ámbito local. La diferencia se encuentra fundamentalmente en el tamaño del área geográfica afectada y el nivel de impactos sobre la demanda de transporte. Los impactos en la demanda se pueden producir a nivel de la matriz de viajes, a nivel de la partición modal y/o a nivel de la asignación a la red. Típicamente los estudios estratégicos afectan los tres niveles; los estudios tácticos no presentan impactos sobre la matriz de viajes, ni sobre la partición modal y pueden o no afectar el nivel de asignación de viajes a la red (con o sin efecto demanda a nivel de la red de transporte). Finalmente, los estudios locales no afectan la demanda. La presente metodología se dirige fundamentalmente a los proyectos de nivel táctico y local. Sin perjuicio de lo cual también es posible evaluar proyectos que tengan impacto a nivel de red o a nivel de la matriz de viajes (impacto en la demanda) haciendo un análisis arco a arco, introduciendo los cambios en las características viales y en los niveles de tránsito correspondientes. Tal es el caso de caminos nuevos o aumentos significativos de la capacidad cuyo tránsito es atraído desde otros tramos de la red.

La presente metodología representa un primer esfuerzo que se hace en el país para incorporar valores económicos derivados de cambios en la seguridad vial en los indicadores de rentabilidad de los proyectos viales, ello implica que:

¹ Sin embargo, esta característica no disminuye la importancia de considerar los impactos sobre la accidentabilidad en los proyectos viales, dado que evita el mayor sesgo en la toma de decisiones al no incluirlos.

² Un análisis detallado de las limitaciones y falencias de las bases de datos de accidentes en el país se entrega en el Informe Final del Estudio: Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas; Capítulo 10: "Requerimientos de Información para el Análisis de Accidentes Interurbanos".

- a. La metodología debe ser posible de aplicar por parte de profesionales que no necesariamente tengan una especialización en temas de seguridad vial. De esta manera, se busca iniciar su aplicación en un plazo breve, con una buena disposición por parte de los responsables de las evaluaciones y de los especialistas en seguridad.
- b. El alcance limitado en esta primera metodología responde a las deficiencias en la información sobre accidentes de tránsito, las características viales específicas de la localización de cada accidente, la información de tránsito y otros datos que, una metodología más completa y rigurosa, requiere.
- c. Si bien, en una primera etapa de aplicación, la metodología tendrá este alcance más restringido, se busca lograr en el tiempo una evolución que permita ir mejorando su calidad y, sobre todo, apoyar el desarrollo de mejores proyectos que incrementen los niveles de seguridad en el país. La evaluación de proyectos siempre debe entenderse, no como un fin en sí misma, sino como un instrumento para mejorar la calidad en los procesos de formulación y evaluación socioeconómica de proyectos.

ENFOQUE METODOLÓGICO

El enfoque metodológico general plantea los lineamientos principales y las etapas que componen la metodología de evaluación de proyectos viales interurbanos que afectan los niveles de seguridad. Básicamente una metodología de evaluación tiene como objetivo entregar el conjunto de antecedentes económicos y no económicos que resumen los impactos principales de un proyecto sobre los niveles de seguridad vial. Estos se resumen en la estimación de beneficios y costos económicos durante toda la vida útil del proyecto, así como en la estimación de los criterios de rentabilidad que se estimen adecuados.

Es claro que no todo proyecto vial afecta de manera significativa los niveles de seguridad, por lo cual un primer paso en la aplicación de esta metodología será decidir si se justifica o no el esfuerzo de considerar la seguridad como un elemento en la evaluación social.

Un aspecto metodológico importante de señalar se refiere a que la diversidad de proyectos viales con impacto en la seguridad, así como la diversidad de medidas específicas de seguridad que se puede aplicar en un tramo vial, conducen a la necesidad de utilizar distintos métodos de evaluación, particularmente de estimación de tasas de accidentes, de acuerdo con distintas tipologías de proyectos, como se mostrará posteriormente.

Para estimar efectos de proyectos o medidas de seguridad se destacan dos enfoques principales. Uno basado en tasas de accidentes para distintas situaciones viales y/o de tasas de reducción frente a medidas de seguridad específicas. Para este método, es posible destacar los documentos “Handbook of Road Safety Measures” (Elvik, 2004) y “Crash Reduction Factors for Traffic Engineering and ITS Improvements” (NCHRP, 2005), los cuales entregan los resultados obtenidos en la aplicación de más de 100 medidas de seguridad. Ambos se utilizan en la propuesta metodológica. También es destacable la presencia de manuales de evaluación de proyectos de seguridad en varios países y, en particular, el “Manual de Seguridad Vial (Highway Safety Manual)” (AASHTO 2010). Si bien éste contiene métodos de evaluación de proyectos de seguridad, su alcance es mucho mayor, abordando todos los aspectos relevantes en materia de seguridad vial.

La experiencia nacional en evaluación de proyectos de seguridad vial es prácticamente inexistente. El énfasis en la seguridad vial se ha expresado principalmente en aspectos normativos expresados en manuales de diseño vial en que se considera la señalización de tránsito y el uso de dispositivos que buscan reducir el número y/o la gravedad de los accidentes. Últimamente se han incorporado estándares mínimos de señalización y de sistemas de seguridad vial en los proyectos de conservación vial, con el objeto de superar el gran déficit que presenta la red vial nacional en este aspecto. Sólo ocasionalmente se ha aprobado asignar presupuesto a proyectos específicos de seguridad y no corresponden a un

tipo habitual que pertenezcan a un programa de mejoras viales, con metodologías de evaluación y asignación presupuestaria.

I. COMPONENTES METODOLÓGICOS

Las componentes esenciales de la metodología de evaluación y de la guía son la estimación de tasas de accidentes y factores de reducción así como la valoración social de los accidentes. Atento a ello, se aborda en este estudio una nueva metodología para evaluar proyectos de seguridad y una guía con carácter de instructivo para su aplicación. Con excepción de los estudios de medidas de seguridad específicas para los cuales se recomienda la participación de un especialista en seguridad vial, para el caso de proyectos viales, se ha desarrollado una propuesta que puede ser aplicado por un profesional no especialista.

Se recomienda aplicar la metodología por un período de dos años haciendo los seguimientos que permitan validarla y corregirla. Para ello se recomienda capacitar a profesionales del área vial, tanto del sector público como privado e iniciar a la brevedad su aplicación.

Por otra parte, la necesidad de disponer de información de mejor calidad y más completa sobre los accidentes surge como un aspecto de primera importancia dadas las limitaciones que imponen los datos disponibles en la actualidad. Los análisis y procesos realizados sobre la información de accidentes y características físicas y operativas de los caminos mostraron que las limitaciones más relevantes son las siguientes:

- Imprecisión o falta de información sobre la localización del lugar del accidente;
- Errores y falta de cobertura en la información de características físicas de los caminos y los datos de tránsito (TMDA);
- Descripción muy agregada de las heridas sufridas por las personas; y
- Falta de seguimiento más prolongado de la evolución clínica de los heridos.
- La base de datos de Carabineros (SIEC-2) considera sólo accidentes con lesionados, con muy pocas excepciones.

Las limitaciones señaladas sin duda han afectado de manera significativa la obtención de mejores resultados, en particular en la estimación de tasas de accidentes y en la calibración de modelos estadísticos. La aplicación del método propuesto para estudiar y evaluar medidas específicas de seguridad requiere contar con una base de datos de accidentes de alta precisión y confiabilidad, lo cual hoy en día es difícil de lograr.

En otro sentido, la estimación de costos sociales se realiza a partir de los recursos que la economía consume al producirse un accidente. Estos recursos consideran

tanto los asociados a las personas que reciben lesiones o mueren como consecuencia de un accidente como a los daños materiales; no obstante, no se consideran los denominados “costos humanos” que pueden alcanzar un valor social más elevado que los costos productivos, particularmente para el valor de la vida humana. Asimismo, debe destacarse el avance en la recopilación de información de atención de lesionados de urgencia y hospitalización a partir de los datos generados por la asistencia pública para el cobro de los seguros obligatorios (SOAP).

II. ETAPAS DEL ANÁLISIS

Las etapas que considera la metodología de evaluación son las siguientes:

- ***Definición de tipologías de proyectos de seguridad;*** se definen los tipos de proyectos que considera esta metodología, para los cuales se estiman tasas de reducción de accidentes, así como valores sociales de los accidentes y otros necesarios.
- ***Definición de la situación base y de alternativas de proyecto;*** a partir de cuya comparación durante la vida útil de los proyectos se estiman los beneficios y costos.
- ***Métodos de estimación de tasas y de reducción de accidentes según tipología de proyectos;*** se desarrollan los métodos para estimar la ocurrencia de accidentes y su tipología, tanto en la situaciones sin y con proyecto, durante la vida útil del proyecto.
- ***Estimación de costos sociales de accidentes según tipo;*** se presenta la metodología y sus resultados con los cuales se estiman los costos sociales que implica cada tipo de accidente y sus consecuencias, en términos de daños materiales y a las personas.
- ***Estimación de beneficios sociales de proyectos de seguridad vial (i.e. son los costos de los accidentes evitados);*** a partir de la variación en el número y tipo de accidentes entre las situaciones sin y con proyecto, durante el período de vida útil, ponderados por los valores económicos de esos accidentes, se estiman los beneficios de los proyectos de seguridad vial.
- ***Estimación de los costos sociales de proyectos de seguridad vial;*** se refiere a los costos de inversión en la implementación de los proyectos, así como los de su conservación durante la vida útil, menos su valor residual, cuando corresponda.
- ***Otros impactos de proyectos de seguridad vial;*** se refiere a otros impactos no considerados en los beneficios o en los costos estimados, los que

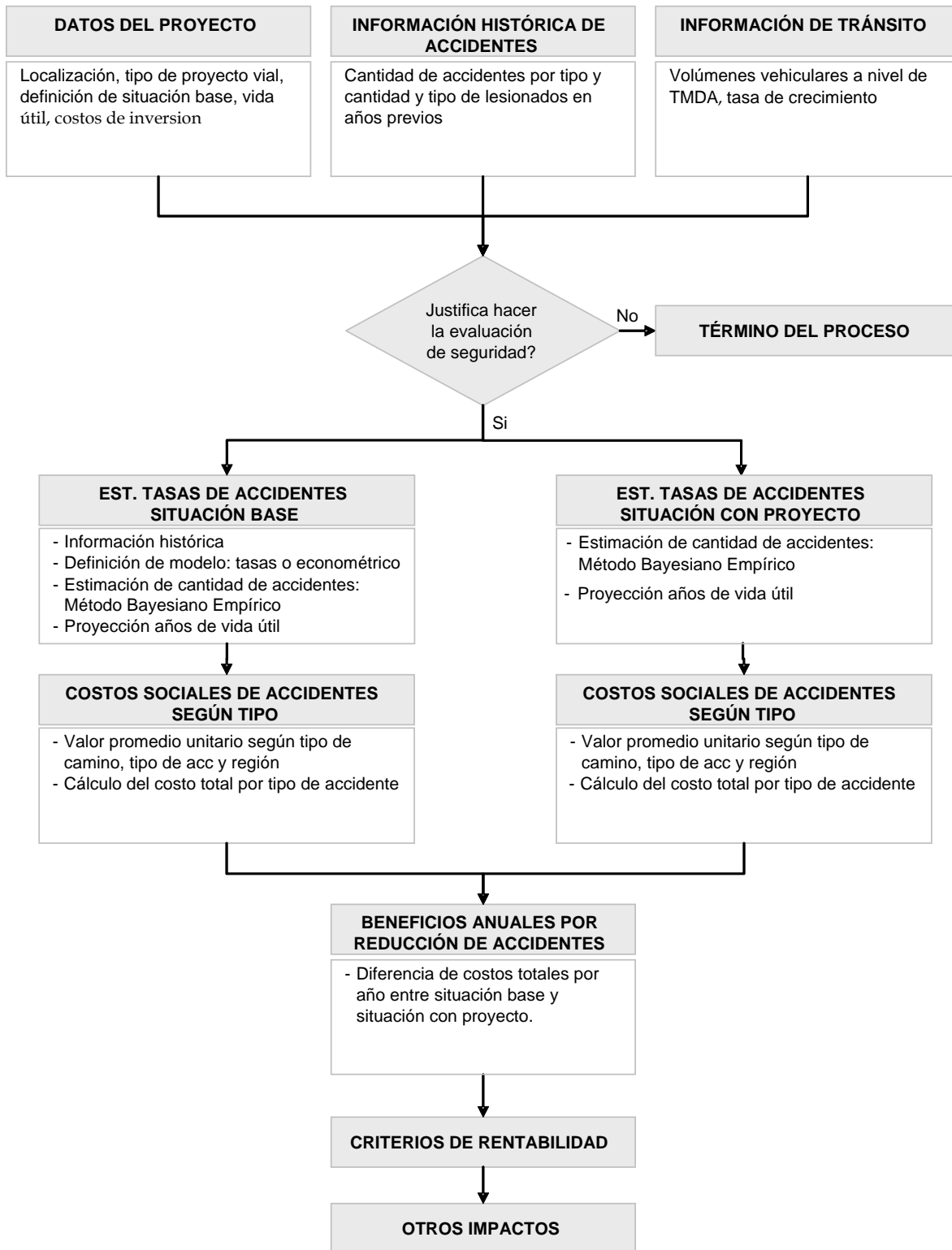
pueden ser considerados de forma complementaria en la toma de decisiones.

- *Criterios de rentabilidad*; se refiere a la selección de indicadores más apropiados para entregar los resultados de la evaluación.
-

Los Cuadros N°1 y N°2 muestran a través de un diagrama las etapas que debe seguir cada proyecto en la metodología.

Cuadro N°1

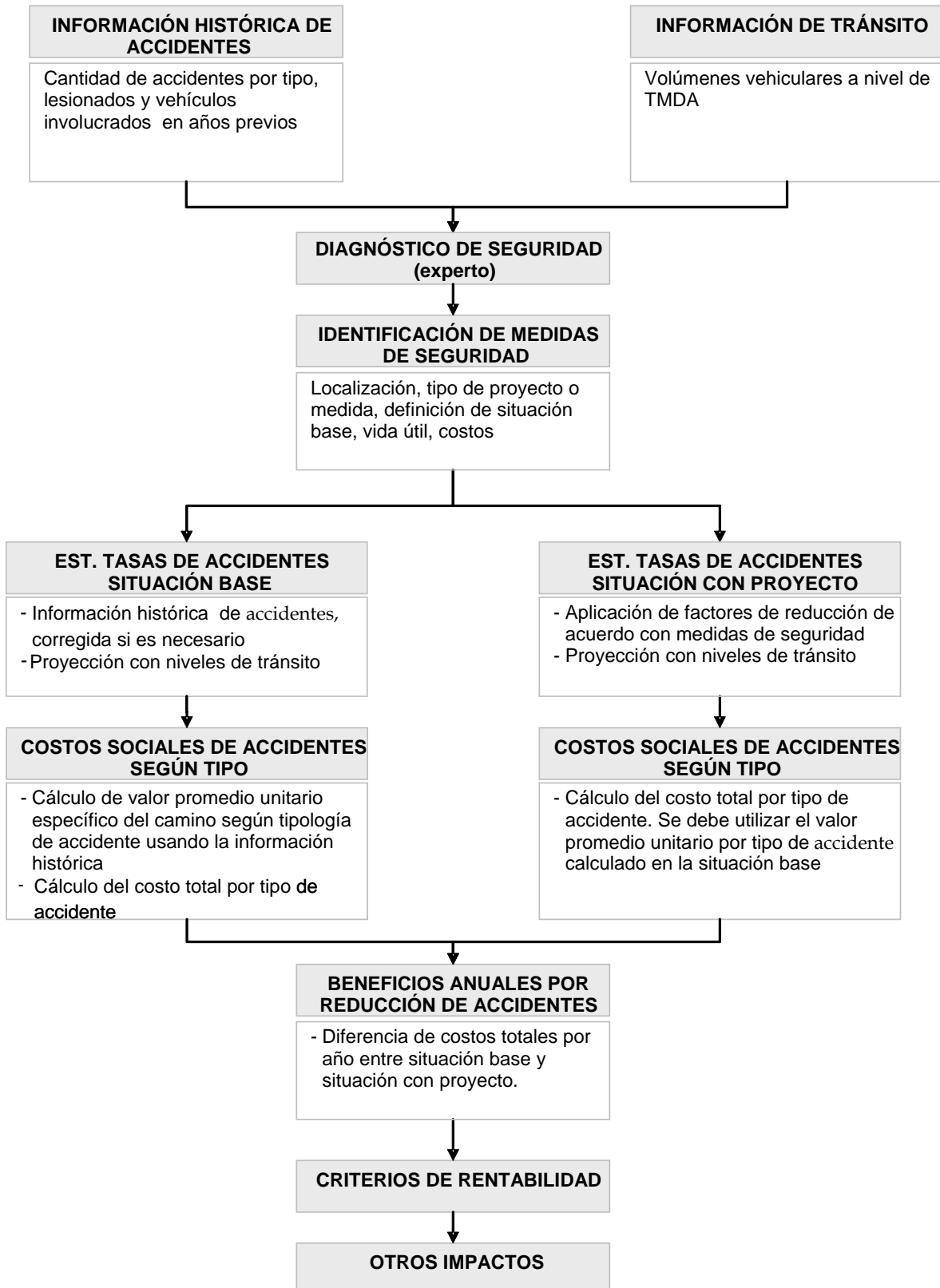
Diagrama Metodológico caso Proyectos Viales



Fuente: Estudio Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept. 2007.

Cuadro N°2

Diagrama Metodológico caso Proyectos en Seguridad Vial



Fuente: Estudio Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept. 2007.

TIPOLOGÍA DE PROYECTOS DE SEGURIDAD

La metodología de evaluación tiene como objetivo ser aplicada en proyectos de seguridad que forman parte integrante de proyectos de mejoramiento vial de mayor alcance o en proyectos específicos constituidos por una o más medidas que buscan preferentemente de manera única mejorar la seguridad en un camino determinado. El objetivo de esta parte de la metodología es justamente definir los tipos de proyectos que forman parte de ella además de clasificarlos de acuerdo a sus características. Estas diferentes características generan la necesidad de distinguir métodos de análisis de tasas y factores de reducción de accidentes diferentes según cada tipo de proyecto.

En términos generales, la metodología desarrollada de predicción de tasas de accidentes permite estimar las tasas en sectores o tramos viales rurales en que se conoce su localización geográfica, el tipo de carpeta, su longitud y el volumen de Tránsito Medio Diario Anual (TMDA). Con esa información, conocida para las situaciones Sin Proyecto (SP) y Con Proyecto (CP) en un horizonte temporal de evaluación, es posible analizar y evaluar un proyecto vial de acuerdo a las consideraciones metodológicas que se señalan más adelante.

Mayoritariamente los proyectos de vialidad que se evalúan en el país pertenecen a los denominados proyectos tácticos, de carácter local y sin efectos de reasignación de tránsito en la red vial. Para estos casos, la presente metodología es de aplicación directa al sector o tramo en estudio. Sin embargo, también se pueden presentar proyectos de vialidad rural donde hay efectos de red a través de reasignaciones de tránsito y/o efectos sobre la demanda a través de cambios en la matriz de viajes. Este último tipo de proyectos se denomina de carácter estratégico. En estos casos, si bien es posible aplicar la metodología a través de un análisis por tramos, sectores o arcos viales, esta resulta bastante más compleja por la necesidad de evaluar arco a arco la red para las situaciones sin y con proyecto.

En los casos en que hay reasignaciones (por ejemplo, para caminos nuevos) la aplicación de la metodología requiere conocer el uso de la red en ambas situaciones SP y CP y estimar las tasas de accidentes diferenciadamente para ambas, de acuerdo a los volúmenes de tránsito para cada sector, tramo o arco de la red. El uso ya habitual de modelos de asignación a la red de transporte facilita estas estimaciones. La evaluación de accidentes se hace comparando la totalidad de los accidentes que se producen en la red vial para las situaciones SP y CP.

De igual manera, si se trata de proyectos viales de carácter estratégico en los que hay efecto demanda (cambios en los vectores de origen y destino de viajes), la comparación de las situaciones SP y CP se debería hacer a través de las tasas de accidentes que se producen en toda la red (arco a arco) para las situaciones sin y con proyecto. Es probable que si se genera tránsito adicional en la red, que no existe en la situación SP (producto de cambios en el uso o intensidad de uso de

suelo), el número de accidentes en la situación CP puede ser superior al de la situación SP.

En aquellos proyectos estratégicos en que se producen cambios en la partición modal, esta metodología no es aplicable, salvo que exista la capacidad de predecir los accidentes, sus características y su valoración en el modo alternativo de transporte (por ejemplo, el modo ferroviario o aéreo). Para clasificar los proyectos viales sobre los cuales se estiman impactos en la seguridad vial se ha estimado adecuado seguir la clasificación general que se define en el Capítulo 2 del Manual de Carreteras, la cual se muestra en el Cuadro N°3.

Cuadro N°3

Equivalencias para la clasificación de proyectos

Descripción del Proyecto	Nomenclatura Sistema Nacional de Inversiones	Clasificación General de los Proyectos Viales
Proyecto de camino nuevo, en todas sus categorías, desde caminos de desarrollo hasta autopistas.	CONSTRUCCIÓN	Nuevos Trazados
Proyectos de camino destinado principalmente a recuperar estructuras como puentes y obras. En muchos casos obliga a rectificaciones de trazado y plataforma, producto de la necesidad de lograr una velocidad de proyecto homogénea.	REPOSICIÓN	Recuperación de Estándar
Proyecto de camino que contempla su pavimentación, incluyendo saneamiento, reemplazo de puentes, intersecciones, señalización y seguridad vial, etc.	MEJORAMIENTO	Cambio de Estándar
Proyecto destinado a construir principalmente segundas calzadas o ampliación del número de pistas de calzadas existentes.	AMPLIACIÓN	Cambio de Estándar

Fuente: Manual de Carreteras Volumen N°2 (Tabla 2.101.203 (5) A)

I. PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL CON EFECTOS EN LA SEGURIDAD

Para efectos la presente metodología, en la clasificación señalada, se ha estimado conveniente agregar en la definición de proyectos clasificados como “Mejoramiento” el concepto de cambio de estándar desde el punto de vista de seguridad. Para estos efectos se define:

- *Camino de tierra o pavimento de estándar M³*: se define como aquel estándar que cumple con el mínimo exigible en materia de estándar de seguridad. Desde el punto de vista de evaluación de proyectos, este

³ Este estándar se encuentra definido en el Informe Final de la Orden de Trabajo N°6 del estudio Análisis Implementación Programa de Asesorías de Transporte Terrestre, VI Etapa: Estándares de seguridad para caminos existentes (Mideplan - Sectra, 2005).

estándar M se definiría como la situación base o sin proyecto. Llevar un camino de su situación actual a un estándar M, no sería motivo de una evaluación económica ya que se presume una rentabilidad positiva.

- **Camino de tierra o pavimento de estándar S:** se define como un estándar superior al mínimo y que cumple con las exigencias del Manual de Carreteras. Un ejemplo son los caminos pavimentados de dos pistas bidireccionales concesionados. En este caso, llevar a un camino de tierra o pavimento desde el estándar M al estándar S puede ser materia de evaluación económica por concepto de impactos en la seguridad y otros.

De acuerdo a lo anterior, la categorización de proyectos propuesta es:

1. Proyectos de construcción de caminos nuevos
 - a. Caminos nuevos de tierra o ripio
 - b. Caminos nuevos con calzada simple bidireccionales pavimentados, estándar S o M.
 - c. Caminos nuevos calzada doble pavimentados
 - d. Caminos nuevos pavimentados estándar autopista
2. Proyectos de mejoramiento
 - a. Pavimentaciones de caminos de tierra o ripio
 - b. Llevar a estándar S caminos de tierra o ripio desde estándar M
 - c. Llevar a estándar S caminos pavimentados desde estándar M
3. Proyectos de ampliación
 - a. Construcción segunda calzada
 - b. Construcción segunda calzada estándar autopista
 - c. Aumento en número de pistas (tramos discontinuos)

Los proyectos de reposición que consideran repavimentaciones mayores y reposición de sectores específicos no se han considerado en esta metodología de evaluación. Este tipo de proyectos busca volver al estándar original del camino y no es claro el efecto sobre la tasa de accidentes. Asimismo, no hay suficientes datos como para construir modelos y/o tasas de accidentes y, la literatura especializada reporta resultados ambiguos para este tipo de proyectos, con una tendencia hacia resultados que no afectan la tasa de accidentalidad. De estimarse necesario construir modelos de predicción confiables para este tipo de proyectos, se requiere una mejor calidad de información y mayor cantidad de datos.

Adicionalmente a los proyectos anteriores, el MOP realiza proyectos de conservación vial, a los cuales destina una parte importante de su presupuesto. A través de este tipo de proyectos se está habitualmente llevando al denominado estándar M los caminos de tierra y pavimentados, el cual se ha definido como el estándar mínimo en términos de seguridad y señalización. Este estándar mínimo, tal como se ha mencionado, no se evalúa y se considera como parte de la situación base, al evaluar proyectos de mejoramiento.

II. PROYECTOS DE SEGURIDAD VIAL

Otro tipo de proyectos de seguridad, adicional a los mencionados anteriormente, se refiere a aquellos proyectos que consideran solamente medidas de seguridad específicas, es decir no forman parte de un proyecto vial como los mencionados anteriormente (camino nuevo, mejoramiento o ampliación). Su origen, normalmente, se encontrará en un tramo vial que presenta condiciones de seguridad bajas, con altas tasas de accidentes y en que se identifican una o más medidas de seguridad en sectores específicos. En la literatura se les denomina “medidas de bajo costo”, análisis de puntos negros o similares, a pesar de que existen medidas que no necesariamente son de bajo costo (como son las barreras de seguridad de alta tecnología, rediseño de cruces, ensanche de bermas y otros). Este tipo de proyectos se denominarán en la presente metodología como: “proyectos de seguridad vial”.

Cualquiera sea el estándar de un camino o de un proyecto, ya sea M o S, es posible estimar el efecto de medidas específicas adicionales de seguridad a través de los denominados factores de reducción, estimados en esta metodología a través de la mejor experiencia internacional reportada.

ESTIMACIÓN DE TASAS Y REDUCCIÓN DE ACCIDENTES SEGÚN TIPOLOGÍA DE PROYECTO

Uno de los aspectos de mayor importancia y complejidad en la metodología de evaluación de proyectos viales interurbanos en materia de seguridad, se refiere a la estimación de tasas de accidentes utilizadas para predecir las situaciones SP y CP. Esencialmente, la metodología estima las tasas de accidentes clasificadas según tipo de accidente y sus consecuencias, así como según el tipo de camino y área geográfica durante el período de vida útil del proyecto. A partir de la comparación de la proyección de accidentes clasificados para cada período, se estiman el número y tipo de accidentes que se evitan por efecto de la ejecución de un determinado proyecto.

La predicción del número y tipo de accidentes requiere información del tipo de modelo de predicción que se utilice, tales como características viales, dispositivos de seguridad, localización geográfica y niveles de tránsito, entre otros. Los modelos estadísticos desarrollados también permiten incorporar información de accidentes ocurridos en el sector vial específico en estudio, mejorando las predicciones. Al respecto, se llevó a cabo una serie de análisis conducentes a establecer métodos de predicción de la cantidad de accidentes en determinadas condiciones promedio. Al enfoque habitualmente utilizado en la experiencia nacional, asociado al cálculo de tasas de accidentes, se agregó un enfoque complementario y más sofisticado, asociado a la estimación de modelos no lineales basados en elementos de estadística bayesiana⁴.

I. TIPOLOGÍA DE CAMINOS, TIPOS DE ACCIDENTES Y LESIONADOS

La información disponible para el cálculo de tasas proviene de tres fuentes:

- ***Base de Datos SIEC-2 de Carabineros de Chile:*** contiene información de los accidentes de tránsito, de las personas y vehículos involucrados en ellos. Los accidentes aparecen localizados mediante el ROL y KM donde ocurrieron en el caso de accidentes en vías MOP. Contiene adicionalmente algunas características de la vía en el lugar del accidente. Se ha considerado de esta base sólo los accidentes que tienen lesionados, y ocurridos en el período 2003-2005;
- ***Catastro vial del MOP:*** contiene las características físicas de los caminos bajo tuición del MOP a nivel nacional. Los distintos caminos se presentan divididos en tramos de características homogéneas; y

⁴ El lector interesado en profundizar sobre el tema podrá recurrir al op.cit. Informe Final del Estudio; Capítulo 5: "Estimación de tasas promedio y de modelos econométricos de accidentes en caminos interurbanos".

- **Base de datos TMDA del MOP:** contiene antecedentes de TMDA en los caminos bajo tuición del MOP a nivel nacional. Los caminos se presentan divididos en tramos en los que se asume un determinado valor representativo del TMDA.

La metodología establece la desagregación de los caminos de acuerdo a tres dimensiones: tipo de vía, localización geográfica y ámbito, tal como se describe en los Cuadros N°4, N°5 y N°6.

Cuadro N°4

Desagregación por tipos de vía

Categoría tramo	Descripción
1 ó 2 pistas no pavimentadas	Camino con 1 ó 2 pistas cuya carpeta de rodado no es asfalto u hormigón
2 pistas pavimentadas	Camino con 2 pistas cuya carpeta de rodado es asfalto u hormigón
4 pistas pavimentadas	Camino con 4 pistas cuya carpeta de rodado es asfalto u hormigón
Autopista	Vía interurbana concesionada con cuatro pistas

Fuente: Estudio Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept. 2007.

Cuadro N°5

Desagregación por localización geográfica

Zona	Descripción
Norte	Considera las regiones I a IV, ambas incluidas
Centro	Considera las regiones V y RM
Sur	Considera las regiones VI a XII, ambas incluidas

Fuente: Estudio Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept. 2007.

Cuadro N°6

Desagregación por ámbito de ocurrencia del accidente

Ámbito	Descripción
Interurbano	Corresponde a los casos donde el accidente ocurre en una vía MOP en una zona interurbana
Urbano	Corresponde a los casos donde el accidente ocurre en un tramo de vía MOP ubicado dentro o en el entorno de los límites de una ciudad.

Fuente: Estudio Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept. 2007.

Los accidentes, por su parte, fueron desagregados por tipo de acuerdo a la clasificación de la base SIEC-2, tal como se muestra en el Cuadro N°7.

Cuadro N°7

Desagregación por tipo de accidente

Tipo accidente	Descripción
Colisión	Idem.,códigos 30 a 34
Choque	Idem.,códigos 40 a 53
Choque c/vehículo detenido	Idem.,códigos 61 a 69
Volcadura	Idem.,código 70
Otros	Idem.,códigos 20, 80, 90 y 99

Fuente: Estudio Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept. 2007.

Finalmente, también se utilizó una clasificación de los lesionados basada en la base SIEC-2 (Cuadro N°8).

Cuadro N°8

Desagregación por número de personas y vehículos involucrados

V ariable	Descripción
Muertos	Número de personas reportadas fallecidas en la base SIEC-2
Heridos graves	Total de personas reportadas con heridas graves
Heridos no graves	Total de personas reportadas con heridas menos graves y leves

Fuente: Estudio Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept. 2007 y SIEC-2 de Carabineros.

II. ACCIDENTABILIDAD: ESTIMACIONES

A. Tasas de accidentabilidad

Para generar una base de datos apropiada para el cálculo de las tasas, fue necesario llevar a cabo un intenso proceso de depuración y compatibilización de los datos disponibles, mediante el cual finalmente se logró montar una base de datos en que se identifican poco más de 33.500 tramos, clasificado en las categorías antes descritas y con información de longitud y tránsito asociado para cada año en el período 2003 - 2005. Por otra parte, se logró localizar en dichos tramos poco más de 9.500 accidentes ocurridos en el periodo.

Cabe mencionar que la información disponible sufre de variados problemas, tales como falta de información de los accidentes y falta de descripción de los tramos (tanto de sus características físicas como de su tránsito). Lo anterior obligó a

eliminar una importante cantidad de datos, disminuyendo la calidad de los resultados obtenidos. En particular, la eliminación de datos introdujo algunos sesgos en la muestra, los que fueron corregidos, tanto para el cálculo de tasas de accidentes, como para la calibración de modelos econométricos.

Construida la base de datos, se procedió a calcular las tasas de accidentabilidad para distintas variables de interés v y categorías de tramos J (Nv_j). La tasa se obtuvo básicamente como el cociente entre el total de accidentes, u otra variable medible, ocurridos en tramos de categoría J y el total de veh-km asociados a esos tramos, durante el período de análisis. La expresión general de la tasa de accidentabilidad es la siguiente:

$$Nv_j = \frac{\sum_{m \in J} v_m}{\sum_{n \in J} TMDA_n \times F_n \times L_n} \times K \times FC$$

Donde:

v_m es la variable v en el tramo “ m ” que por ejemplo puede representar: i) número de accidentes totales y según tipo: choques, colisiones, volcaduras, atropellos, etc; ii) número de muertos, lesionados e ilesos; iii) número de vehículos involucrados;

j es una categoría formada por el cruce entre categorías de vía, localización geográfica y ámbito;

$TMDA_n$ es el tránsito medio anual en el tramo “ n ”;

F_n es el número de días que el tramo “ n ” permaneció en la categoría J , a través de esta variable los valores se independizan de la dimensión temporal;

L_n es la longitud de tramo “ n ”;

K es un factor de amplificación de las tasas: 10 millones;

FC corresponde a un factor de corrección incorporado para revertir el sub-reporte de accidentes asociados a la imposibilidad de localizarlos, que además se encuentra sesgado hacia los accidentes en caminos no pavimentados. El factor correspondiente resultó ser de **1,28** para caminos pavimentados y de **3,49** para caminos no pavimentados⁵.

Para determinar la tasa de accidentes históricos particular al tramo del proyecto que se quiere construir, deberá utilizarse la misma mencionada. Sin embargo, dado que se espera que la base de datos con los accidentes del proyecto no presente fallas, deberá eliminarse el factor de corrección FC .

B. Modelos econométricos de accidentabilidad

⁵ El lector interesado en profundizar sobre el tema podrá recurrir al op.cit. Informe Final del Estudio; Capítulo 5: “Estimación de tasas promedio y de modelos econométricos de accidentes en caminos interurbanos”.

Otro método para la estimación de la cantidad de accidentes en un camino o tramo de camino, es la calibración de modelos econométricos que, a diferencia de las tasas, asumen relaciones distintas a la lineal entre la cantidad de accidentes y el tránsito de los caminos. Para la calibración de dichos modelos, se utilizó la misma base de datos construida para el cálculo de tasas de accidentabilidad.

La literatura técnica revisada para el desarrollo de la metodología coincide en que el análisis estadístico de la información de accidentes no puede obviar una característica fundamental del fenómeno, que corresponde a la baja frecuencia con que ocurren los accidentes. Entre otros efectos, esta característica propicia la aparición de un fenómeno que se conoce como “Regresión a la Media” (RTM, por sus siglas en inglés).

La RTM es un fenómeno que refleja la alta variabilidad que se puede producir en la tasa de accidentes en un sector vial entre un período y otro. Por ejemplo, si se observa un alto número de accidentes en un período en comparación con períodos previos, se genera una alta probabilidad de que, en el futuro, ese número de accidentes disminuya de forma importante, pero no necesariamente porque se implemente una medida correctiva, sino simplemente porque el fenómeno “retorna a su media” de forma natural.

En el desarrollo de esta metodología se ha seguido los desarrollos de Hauer (Hauer, 1997 y 2001⁶), quien desarrolló un enfoque estadístico (utilizado actualmente por ejemplo en EE.UU. para el análisis de seguridad vial) y que ha sido citado como referencia en numerosos otros trabajos.

El método involucra el uso de información de accidentes y de las vías en sección cruzada (combinando series de datos en el tiempo de distintos caminos o tramos) de manera de disponer de mayor número de datos para secciones-tipo de caminos. Con esta información se estiman modelos econométricos que relacionan los accidentes con las características de los caminos. Luego, estos modelos pueden ser combinados con datos observados para obtener una estimación más confiable de los accidentes esperados en un cierto tramo de la vía.

Los modelos estimados asumen una distribución binomial negativa para el número de accidentes ocurridos en un tramo en un determinado período. Este método recibe el nombre de “bayesiano empírico” para la estimación de accidentes (EBM por sus siglas en inglés).

Sea Y el número de accidentes observados en un tramo de camino durante un cierto período. El EBM asume que Y sigue una distribución discreta de tipo binomial negativa, cuya función de densidad es la siguiente.

⁶ Hauer, E. (1997) Observational before-after studies in road safety: estimating the effect of highway and traffic engineering measures on road safety. Pergamon, Oxford, UK. Hauer, E. (2001) Overdispersion in modelling accidents on road sections and in empirical bayes estimation. Accident Analysis and Prevention, Vol. 33, pp. 799-808.

$$P(Y = y) = \frac{\Gamma(y + \phi)}{\Gamma(\phi)y!} \left(\frac{\phi}{\eta + \phi}\right)^\phi \left(\frac{\eta}{\eta + \phi}\right)^y \quad y = 0, 1, 2, \dots, n$$

Donde:

η es la esperanza de la variable Y ;

ϕ es el parámetro de sobre-dispersión.

Esta distribución se caracteriza porque si una variable la sigue, entonces su varianza V es función de su esperanza y del parámetro de sobredispersión a través de la siguiente relación:

$$V = \eta (1 + \phi\eta)$$

Ello implica que a medida que la información de accidentes tiene mayor dispersión, mayor es el valor de ϕ . Por lo tanto, la desviación estándar del número de accidentes es del orden de su valor medio, razón por la cual el estadígrafo T-Student de la variable no será, en general, significativo al 95% de confianza.

La modelación de los accidentes implica relacionar la variable η con características observables de la vía. Se asume entonces que estos accidentes son función de un conjunto de variables explicativas (X_i) relacionadas con las características del camino, el flujo vehicular; es decir:

$$\eta = f(X_i, \beta_i)$$

De esta forma, la estimación de un modelo de predicción de accidentes, implica definir las variables explicativas X y estimar los parámetros β y ϕ .

Hauer postula que, si se dispone de un modelo que explique la accidentabilidad de un tramo de camino y , además se cuenta con información observada del número de accidentes, entonces la mejor estimación del número de accidentes para ese tramo se obtiene de un promedio ponderado de la predicción del modelo (Y) y los datos observados (A).

La estimación se obtiene entonces como:

$$N = \alpha Y + (1 - \alpha)A$$

Donde:

α es el peso relativo del modelo y está dado por la siguiente expresión.

$$\alpha = \frac{1}{1 + \phi E}$$

(E es el valor esperado de la variable para el caso en evaluación, vale decir, es igual a Y .)

De esta manera, si el modelo tiene asociado un valor alto del parámetro ϕ , menor será el peso que se le asignará en el promedio ponderado. Como se explicó, esto se asocia a una estimación con datos de accidentes con gran variabilidad y , por lo tanto, con una menor confiabilidad para predecir el número de accidentes.

A partir de la información disponible de accidentes y características de las vías se formularon distintos modelos para explicar el número de accidentes de cada tramo. Para cada uno de ellos se determinó el número de accidentes anuales para 2003, 2004 y 2005. Como se explicó anteriormente, en ese período, las características físicas del camino permanecen constantes, no así el TMDA, que crece a tasa 3% anual.

De modo de superar los problemas de subestimación y sesgo introducido por la eliminación de accidentes de la base de datos que no contaban con información de localización, se sumó a la base de datos los accidentes faltantes⁷, agregándose por separado los accidentes asociados a tramos pavimentados y no pavimentados, repartiéndolos en forma proporcional al tránsito de cada tramo. Como variable explicativa se utilizó el tránsito del camino (medido en veh-km). Luego de un intenso proceso de búsqueda de formas funcionales para los modelos de predicción, se encontró los mejores resultados en dos formulaciones: una con enfoque desagregado y otra con enfoque agregado.

En el enfoque desagregado, se calibró un modelo para cada clase (combinación de tipo de vía, localización geográfica y ámbito), utilizando la siguiente forma funcional:

$$Y^j = e^{\beta_0^j} VK^{\beta_{VK}^j}$$

Donde:

Y^j es la cantidad de accidentes anuales en un tramo de camino de clase j ;

VK es el tránsito del camino, expresado en veh-km;

β_0^j, β_{VK}^j son los parámetros de modelación;

En el otro enfoque, se generó un único modelo para todas las clases de accidentes, las cuales son tratadas a través del uso de variables dummy (0/1) asociadas a cada uno de los tipos de camino, localizaciones geográficas y ámbitos. La forma funcional del modelo es la siguiente:

$$Y = e^{\beta_0 + \beta_u \delta_u + \sum_{i=tipo} \beta_i \delta_i + \sum_{m=macroreg} \beta_m \delta_m} \prod_{i=tipo} VK^{\beta_{VK}^i \delta_i}$$

Donde:

Y es la cantidad de accidentes anuales en un tramo de camino;

VK es el tránsito del camino, expresado en veh-km;

$\delta_u, \delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_N, \delta_C$ son las variables dummy asociadas a ámbito urbano (1 para urbano, 0 para interurbano), camino tipo 1, 2, 3 o 4 (1 para el tipo de camino correspondiente y 0 en otro caso) y localización geográfica norte y centro (1 para la localización correspondiente y 0 en otro caso).

$\beta_0, \beta_u, \beta_1, \beta_3, \beta_4, \beta_N, \beta_C, \beta_{VK^1}, \beta_{VK^2}, \beta_{VK^3}, \beta_{VK^4}$ son los parámetros de calibración.

Los resultados de la estimación de los modelos son, en general, muy robustos. Los parámetros presentan altos niveles de significancia. El signo de los parámetros correspondientes a veh-km y ámbito es correcto pues dan cuenta de un incremento de los accidentes a medida que aumenta el flujo vehicular y/o la longitud del tramo y también si el tramo se localiza en una zona urbana. El ajuste de ambos modelos es comparable a los valores reportados en la literatura.

Es necesario destacar que los modelos resultantes tienen asociada una tasa de accidentes que varía en función de la magnitud de la variable veh-km, a diferencia de las tasas constantes descritas anteriormente. En los modelos presentados, el exponente de la variable veh-km es siempre positivo, a veces menor que 1 y otras

⁷ Corresponde a los accidentes que se eliminaron para el cálculo del modelo de tasas. Se agregan nuevamente ya que no puede aplicarse un factor de corrección a este método.

mayor que 1, mostrando que en los diferentes tipos de caminos, el número de accidentes siempre crece a medida que aumentan los veh-km pero, en algunos lo hace a tasa decreciente y en otros a tasa creciente.

En el caso del enfoque desagregado en aproximadamente la mitad de las clases⁸, no fue posible calibrar los parámetros, ya sea por cantidad insuficiente de observaciones o porque las observaciones no presentan la variabilidad necesaria. Sin embargo, en algunas de las clases calibradas, los niveles de ajuste son superiores a los del modelo agregado⁹.

C. Criterio de elección de método de estimación de accidentes

Una comparación detallada de los resultados de estimación de accidentes con el uso de modelos no lineales o tasas, permite apreciar que ambos métodos presentan ventajas y desventajas en su aplicabilidad. Producto de ello, se ha estimado que la mejor estimación de cantidad de accidentes es aquella que surge de utilizar lo mejor de ambos enfoques. En términos prácticos, la recomendación es:

“Utilizar preferentemente el modelo econométrico, siempre y cuando haya sido posible su calibración, y que el nivel de tránsito esté dentro de un rango de validez razonablemente similar al rango de los datos con que se calibró dicho modelo. En caso contrario, utilizar el enfoque de tasas”.

“Una vez determinado el modelo a utilizar, éste debe aplicarse en la estimación del número de accidentes tanto en la situación SP como en la CP, de manera de lograr consistencia en las proyecciones. Si el modelo no-lineal no se encuentra disponible en alguno de los dos casos (SP o CP), se deberá utilizar el modelo de tasas para estimar el número de accidentes en ambas situaciones”.

En el Cuadro N°9 se plantea un listado de tipos de camino, el rango de validez en que se recomienda utilizar el modelo no lineal, los parámetros del modelo y las tasas de accidentes por tipo. El resultado del uso de los valores de la tabla siguiente, en combinación con el tránsito (en veh-km) del tramo en evaluación, permitirá estimar la cantidad anual de accidentes en el tramo (Y).

$$VK = TMDA * Longitud * 365$$

Donde:

VK es la cantidad de vehículos estimados que pasarán por el tramo del proyecto durante el año.

⁸ Para cada macroregión, tipo de camino, y tipo de accidente se estimaron betas (es el enfoque desagregado)

⁹ El lector interesado en profundizar sobre el tema podrá recurrir al op.cit. Informe Final del Estudio; Capítulo 5: “Estimación de tasas promedio y de modelos econométricos de accidentes en caminos interurbanos”.

Cuadro N°9

Resumen de Métodos de Estimación de Cantidad de Accidentes

Tipo de camino	Rango de Tránsito para uso del modelo desagregado [veh/día]	Modelo por macro-región $Y = e^{\beta_0} VK^{\beta_{VK}}$	Tasa por macro-región $Y = Tasa \cdot VK$ [acc / 10 MVK]	
Camino no pavimentado	N/A	N/A	Norte	
			Total	6,98
			Atropello	0,36
			Choque	0,50
			Colisión	1,31
			Volcadura	4,76
			Otro	0,05
			Centro	
			Total	9,55
			Atropello	1,30
			Choque	2,29
			Colisión	3,06
			Volcadura	2,75
			Otro	0,15
			Sur	
			Total	6,76
			Atropello	1,24
			Choque	0,93
			Colisión	2,12
			Volcadura	2,33
			Otro	0,14

Fuente: Estudio Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept. 2007 y SIEC-2 de Carabineros.

Cuadro N°9 (continuación)

Resumen de Métodos de Estimación de Cantidad de Accidentes

Tipo de camino	Rango de Tránsito para uso del modelo desagregado [veh/día]	Modelo por macro-región $Y = e^{\beta_0} VK^{\beta_{VK}}$	Tasa por macro-región [acc / 10 MVK] $Y = Tasa \cdot VK$	
Camino pavimentado de dos pistas	300 - 2.000	Norte β_0 -12,99 β_{VK} 0,85	Norte	
			Total	2,25
			Atropello	0,22
			Choque	0,30
			Colisión	0,57
			Volcadura	1,11
		Otro	0,03	
		Centro β_0 -14,24 β_{VK} 0,94	Centro	
			Total	2,86
			Atropello	0,41
			Choque	0,59
			Colisión	1,07
			Volcadura	0,72
		Otro	0,07	
		Sur β_0 -13,59 β_{VK} 0,91	Sur	
			Total	3,54
			Atropello	0,75
			Choque	0,53
Colisión	1,46			
Volcadura	0,76			
Otro	0,04			

Fuente: Estudio Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept. 2007 y SIEC-2 de Carabineros.

Cuadro N°9 (continuación)

Resumen de Métodos de Estimación de Cantidad de Accidentes

Tipo de camino	Rango de Tránsito para uso del modelo desagregado [veh/día]	Modelo por macro-región $Y = e^{\beta_0} VK^{\beta_{VK}}$	Tasa por macro-región [acc / 10 MVK] $Y = Tasa \cdot VK$	
Camino pavimentado de dos pistas con estándar superior (100 km/h)	N/A	N/A	Nacional	
			Total	1,70
			Atropello	0,09
			Choque	0,76
			Colisión	0,38
			Volcadura	0,47
			Otro	0,00
Camino pavimentado de cuatro pistas	2.000 - 5.000	Norte β_0 N/A β_{VK} N/A	Norte	
			Total	1,82
			Atropello	0,61
			Choque	0,61
			Colisión	0,00
			Volcadura	0,61
			Otro	0,00
		Centro β_0 N/A β_{VK} N/A	Centro	
			Total	2,80
			Atropello	0,58
			Choque	0,40
			Colisión	1,58
			Volcadura	0,18
			Otro	0,07
		Sur β_0 -15,17 β_{VK} 0,91	Sur	
			Total	4,15
			Atropello	0,92
			Choque	1,19
			Colisión	1,68
			Volcadura	0,30
			Otro	0,07

Cuadro N°9 (continuación)

Resumen de Métodos de Estimación de Cantidad de Accidentes

Tipo de camino	Rango de Tránsito para uso del modelo desagregado [veh/día]	Modelo por macro-región $Y = e^{\beta_0} VK^{\beta_{VK}}$	Tasa por macro-región [acc / 10 MVK] $Y = Tasa \cdot VK$	
Autopista (120 km/h)	5.000 en adelante	Norte β_0 N/A β_{VK} N/A	Norte	
			Total	1,64
			Atropello	0,11
			Choque	0,44
			Colisión	0,50
			Volcadura	0,55
			Otro	0,03
		Centro β_0 -15,99 β_{VK} 1,04	Centro	
			Total	2,01
			Atropello	0,22
			Choque	0,51
			Colisión	0,83
			Volcadura	0,44
			Otro	0,02
		Sur β_0 -12,55 β_{VK} 0,84	Sur	
			Total	2,18
			Atropello	0,43
			Choque	0,41
			Colisión	0,79
			Volcadura	0,53
			Otro	0,02

Fuente: Estudio Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept. 2007 y SIEC-2 de Carabineros.

ESTIMACIÓN DE ACCIDENTABILIDAD EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL CON SEGURIDAD

I. SITUACIÓN SIN PROYECTO

La aplicación de una metodología de evaluación de proyectos requiere comparar los impactos que produce la ejecución de un nuevo proyecto (situación CP) con una situación definida como base (situación SP). Una definición inadecuada de cualquiera de ambas situaciones podrá generar sesgos en la evaluación, aumentando o disminuyendo los beneficios de manera incorrecta, lo cual puede conducir a tomar decisiones de inversión erróneas.

La situación SP se define usualmente también como situación actual optimizada, lo cual se logra a través de reconocer algunas mejoras, normalmente de bajo costo pero que corrigen problemas que son evidentes o llevan la situación actual a cumplir los estándares mínimos (en este caso de seguridad) que se ha acordado para una determinada infraestructura. Dado que la situación base se compara con la con proyecto durante toda la vida útil del proyecto, será necesario proyectarlas incorporando los cambios que sean necesarios para su correcto funcionamiento.

Para el caso de proyectos en que se evaluará el impacto sobre la accidentalidad, podrán presentarse situaciones en que el estándar actual del camino sea muy bajo, inferior al definido como estándar M, en cuyo caso la situación base o sin proyecto siempre será el estándar M. Metodológicamente los costos asociados a ese cambio de estándar no son materia de evaluación económica (pertenecen a las situaciones sin y con proyecto).

Debido a la poca predictibilidad del modelo econométrico –calculada a través de los intervalos de confianza-, en aquellos casos en que se cumplan las condiciones para su aplicación, en primer lugar se deberá comprobar si presenta valores similares a los datos históricos (comparando la cantidad de accidentes estimados por el modelo con la información histórica). En caso de que la cantidad estimada se encuentre en un rango del 21% de la información histórica (A) ($0,79*A \leq Y \leq 1,21*A$), se podrá utilizar este modelo¹⁰.

Cabe notar que, para aquellos casos en que el cuadro anterior recomienda el uso de un modelo no lineal, la estimación obtenida corresponde al número total de accidentes (Y)¹¹. Si se requiere una estimación por tipo de accidentes, se

¹⁰ Este intervalo se determinó utilizando la desviación estándar del parámetro de sobre-dispersión con el valor crítico de una normal estandarizada al 99% de confianza.

¹¹ En el caso de que se requiera analizar la cantidad de lesionados de cada tipo asociados a las categorías descritas, se deberá recurrir a las tablas desagregadas presentadas en op.cit. Informe Final del Estudio; Capítulo 5: “Estimación de tasas promedio y de modelos econométricos de accidentes en caminos interurbanos”.

recomienda desagregar dicha cantidad en forma proporcional a las tasas presentadas.

El enfoque utilizado permite considerar de forma ponderada el valor estimado por el modelo con la información histórica de que se disponga para el tramo o camino en evaluación. Como se ha explicado previamente, el peso del ponderador depende del parámetro de sobredispersión, cuyo valor ha sido obtenido a partir del modelo agregado, el cual permite estimar un parámetro de sobredispersión único para todo el set de datos. El parámetro de sobredispersión estimado es:

$$e^{\ln(\phi)} = e^{-0,68} = 0,51.$$

De esta forma, la mejor estimación de accidentes para un tramo sería:

$$N = \alpha Y + (1 - \alpha)A$$

$$N = \frac{1}{1 + 0,51 \cdot Y} \cdot Y + \frac{0,51 \cdot Y}{1 + 0,51 \cdot Y} \cdot A$$

Donde:

N es la estimación de accidentes anuales para un tramo;

Y es la estimación hecha con el modelo (ya sea lineal o no lineal);

A es el promedio de accidentes anuales del tramo obtenido de la información histórica disponible;

Evidentemente, el ponderador está acotado entre 0 y 1 y su valor es función de la cantidad de accidentes que el modelo estima para el tramo en evaluación. Si el modelo estima una cantidad reducida de accidentes, su peso frente a los datos históricos será mayor, respondiendo a la lógica de que justamente en esos casos en que la cantidad esperada de accidentes es baja, los datos históricos podrían estar afectados por Regresión a la Media. Cabe destacar, que para el cálculo del total de accidentes en la situación CP se debe utilizar el mismo ponderador (α) encontrado en la situación SP.

II. SITUACIÓN CON PROYECTO

Con el fin de que la comparación entre situación SP y CP sea consistente, se debe proyectar la información histórica, utilizando las tasas de accidentabilidad del modelo lineal, reportadas en el Cuadro N°9. Lo anterior se realiza multiplicando, para cada tipo de accidente, la información histórica por la razón de tasas entre las situaciones SP y CP, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$A_{c/p}^j = A_{s/p}^j \left(\frac{\text{tasa}(\text{lineal})_{c/p}^j}{\text{tasa}(\text{lineal})_{s/p}^j} \right)$$

Donde:

$A_{c/p}^j$ es la proyección del número de accidentes históricos del tipo j (situación CP);

$A^{j_{s/p}}$ es el número de accidentes históricos del tipo j (situación SP);

tasa (lineal) $j_{c/p}$ es la tasa de accidentabilidad reportada por el modelo lineal para el tipo de accidente j , en el caso CP.

tasa (lineal) $j_{s/p}$ es la tasa de accidentabilidad reportada por el modelo lineal para el tipo de accidente j , en la situación SP.

Una vez obtenida la información histórica proyectada, el procedimiento es similar al definido para la situación SP.

Cabe destacar, que para el caso particular donde la situación SP es un camino pavimentado de cuatro pistas en la zona norte, la tasa (lineal) $j_{s/p}$ para el tipo de accidente colisión, es igual a 0,00. Esto no permite calcular la razón de tasas, con lo que este tipo de accidentes deberá quedar fuera del análisis. De esta manera, se deberá imponer un valor 1 a la razón de tasas, y así la situación CP y SP serán iguales.

ESTIMACIÓN DE ACCIDENTABILIDAD EN PROYECTOS DE SEGURIDAD VIAL

Esta sección desarrolla la aplicación de la metodología para la estimación de reducciones de accidentes por la implementación de proyectos específicos de seguridad en ciertos puntos o sectores de la vía. Al respecto, la individualización de las deficiencias en seguridad del tramo de vía abordado, debe estar basada en datos concretos, de calidad y obtenidos en forma sistemática. Asimismo, se requiere contar con estimaciones confiables respecto del impacto que las medidas individualizadas tendrán en la accidentabilidad. En consideración de esto y a partir de los antecedentes recogidos nivel nacional como internacional, se ha definido el siguiente proceso para determinar la tasa de reducción de accidentes generada por medidas específicas de seguridad vial:

1. Individualización de los sectores a tratar
2. Determinación de la tasa anual de accidentes SP
3. Estimación de la reducción anual de accidentes en la situación CP

I. INDIVIDUALIZACIÓN DE LOS SECTORES RELEVANTES

La génesis del tipo de proyectos abordados en este punto se encuentra generalmente en demandas de la comunidad y de instituciones de carácter ciudadano, así como en los análisis realizados por los responsables de seguridad vial de la Dirección de Vialidad. No obstante, la individualización y selección definitiva de los sectores susceptibles de ser tratados con proyectos específicos de seguridad vial debe basarse en datos concretos de accidentes, con el objeto de dirigir la asignación de recursos escasos hacia aquellos sectores en que efectivamente existen factores de riesgo medibles.

A. Datos accidentes de tránsito

Las fuentes de este tipo de datos a nivel nacional son fundamentalmente dos:

- *Sistema de Información de Accidentes de Carabineros de Chile.* La base de datos que para fines de estudio e investigación vial se puede desprender de este sistema es manejada por CONASET. Entidad dentro de cuyas funciones ésta la entrega de datos específicos (www.conaset.cl).
- *Sistema de Información de Accidentes de Vías Concesionadas.* Las empresas concesionarias de vías interurbanas cuentan con bases de datos de accidentes por requerimientos de su gestión.

La información a recopilar para los sectores analizados, en un período de tres años -períodos menores reducen la calidad de la estimación-, debe ser al menos la siguiente para cada accidente:

- Ruta y kilómetro de ocurrencia,
- Fecha y hora,
- Tipo de accidente (caída, atropello, colisión, choque o volcadura),
- Consecuencias (fallecidos, lesionados graves, menos graves, leves, sin lesiones).

En base a lo anterior se podrá dimensionar el grado de inseguridad del tramo. Como criterio de comparación, se plantea que sectores con más de 3 accidentes con consecuencias al año deberían ser tratados.

B. Auditoría de seguridad

Cuando existan deficiencias en la información de accidentes, por ejemplo, cuando los datos no individualizan precisamente el lugar en que ocurre el accidente, o el período con que se cuenta con información confiable es menor a un año y, por lo tanto, no es factible dimensionar el nivel de riesgo vial en forma cuantitativa en un sector determinado, debe recurrirse a una Auditoría de Seguridad Vial que demuestre la existencia del riesgo.

La Auditoría de Seguridad es un proceso formal donde un especialista con formación en el área de seguridad vial o con experiencia comprobada, realiza un análisis sistemático del sector en estudio. En estos casos, la auditoría debe estar dirigida a determinar si los riesgos existentes en el sector se encuentran asociados a carencias en el estándar de los elementos del camino (por ejemplo, por la inexistencia de bermas). De ser así, el proyecto de seguridad considerará el mejoramiento de dichos elementos de tal manera que cumplan el estándar requerido por la normativa. En este caso el proyecto no se somete a evaluación económica.

II. SITUACION SIN PROYECTO

En base a los datos de accidentes que entrega la información recopilada por Carabineros o empresas concesionarias, se deben obtener, a lo menos, datos desagregados respecto a los siguientes accidentes:

- Accidentes con fallecidos
- Accidentes con lesionados: incluyendo lesionados graves, menos graves y leves.
- Accidentes sin lesionados.
- Accidentes totales.

Estos datos se deben procesar de tal manera de obtener los siguientes tres grupos de cantidad de accidentes anuales:

- *Accidentes Anuales históricos con fallecidos*: para cada tipo de accidente (atropello, choque, colisión, volcamiento o caída) se debe determinar la tasa anual de accidente con al menos un fallecido.

- *Accidentes Anuales históricos con lesionados*: para cada tipo de accidente (atropello, choque, colisión, volcamiento o caída) se debe determinar la tasa anual de accidente sólo con lesionados.
- *Accidentes Anuales históricos sin lesionados*: cantidad anual de accidentes sin lesionados.

Para los *Accidentes Anuales históricos con fallecidos* y los *Accidentes Anuales históricos con lesionados*, el valor para cada variable considerada se obtiene de dividir el número total de casos por el número de años de casos, como se detalla en la siguiente relación:

$$TAH_{ij} = \frac{A_{ij}}{N}$$

Donde:

TAH_{ij} son los accidentes Anuales históricos de tipo i y consecuencias j ;

N es el número de años;

A_{ij} es la cantidad de casos de accidentes tipo i y consecuencias j ;

i son los atropellos, choques, colisiones, volcaduras o caídas;

j son los accidentes con $j =$ con fallecidos ó sólo lesionados;

Si la información histórica de accidentes cubre períodos entre 1 y 3 años, los valores de tasas por tipo de accidente deben corregirse según la siguiente relación:

$$TAC_{ij} = \frac{TAH_{ij} * TACT}{TAHT}$$

Donde:

TAC_{ij} son los accidentes Anuales Corregidos de tipo i y con consecuencia j

TAH_{ij} son los accidentes Anuales históricos de tipo i y con consecuencia j

$TAHT$ son los accidentes Anuales Históricos Totales, sumatoria accidentes con fallecidos históricos más accidentes con lesionados históricos.

$$TACT = \alpha \cdot Y + (1 - \alpha) \cdot TAHT$$

Donde:

$TACT$ son los accidentes Anuales Corregidos Totales

Y son los accidentes anuales predichos por el Modelo detallado en Resumen de Métodos de Estimación de Cantidad de Accidentes, para un camino como el analizado en el proyecto.

$$\alpha = \frac{1}{(1 + 0,51 \cdot Y)}$$

En aquellos casos en que la Auditoría de Seguridad revele la necesidad de adoptar medidas específicas de seguridad, pero la información estadística de accidentes sea inconsistente, se debe llevar a estándar los elementos viales que presenten deficiencias, sin someter a evaluación económica estas mejoras.

III. SITUACIÓN CON PROYECTO

Los beneficios sociales de este tipo de proyectos están dados directamente por los ahorros producidos por la disminución de accidentes, ya sea por su disminución en cantidad y/o consecuencias. El punto central es entonces dimensionar la reducción que se espera generen las medidas específicas de seguridad consideradas en el proyecto.

El ámbito de estas medidas, como ya se ha mencionado, cubre un amplio rango de alternativas, desde aquellas denominadas de bajo costo, como demarcación o señalización vertical, a obras viales de envergadura, como ensanche de túneles, cambios de pendiente o disminución de la fricción lateral. A ésta diversidad de medidas se agrega como dificultad adicional la escasa aplicación que este enfoque ha tenido en el país, centrada fundamentalmente en vías urbanas¹². En consecuencia, se utilizará una selección de medidas que, por una parte, tienen relación con vialidad interurbana y que se puedan presentar con mayor frecuencia en los proyectos viales nacionales y, por otra parte, que la experiencia internacional refleje un mayor nivel de confiabilidad, a través del intervalo de confianza de la tasa de reducción sugerida.

Las tasas de reducción presentadas resumen las obtenidas en una gran cantidad de estudios, de las cuales se han excluido:

- Medidas dirigidas a tratar accidentes de carácter eminentemente urbano;
- Medidas cuya evaluación arroja, según los autores, significancia estadística escasa o nula, resultados contradictorios ó inciertos;
- Medidas donde no se cuenta al menos con estudios antes – después que validen los datos obtenidos, o donde no se ha evaluado el efecto de la regresión a la media;
- Medidas que no representen condiciones esperables de proyectos viales dirigidas a mejorar las condiciones de seguridad vial; y
- Medidas que muestren un rango de variación elevado en torno al porcentaje medio de reducción propuesto.

¹² En este contexto, para la individualización de tasas de reducción de accidentes generadas por tratamientos de seguridad, sólo cabe recurrir a la experiencia internacional, la que se analiza en detalle en Estudio: Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept 2007; en el Capítulo 6.

En el Cuadro N°10 se detallan los referidos factores de reducción, cuya aplicación al caso nacional permitirá ir validando y ampliando en diversidad. Para un par de ellas no se encontraron cifras de reducción en la literatura revisada; no obstante, se agregaron otras cuyos resultados se estiman de confiabilidad como para su utilización en los estudios nacionales.

Cuadro N°10
Factores Reducción de Accidentes

Tipo de Medida	Medida	Accidentes Tratados	% de reducción de accidentes			
			con fallecidos	con lesionados	sin lesionados	Total
1.Elementos de Contención	1.1 Barreras contención en mediana	Choques y Volcaduras	-43	-30	24	--
	1.2 Amortiguadores de impacto en puntos rígidos	Choques	-69	-69	-46	--
	1.3 Barreras de contención en sectores sin área despejada*.	Choques y Volcaduras	-44	-47	-7	--
2. Pistas Adelantamiento	2.1 Habilitación en un lado de la vía.	Todos	--	-18	-20	
	2.2 Habilitación en ambos lados de la vía.	Todos	--	-40	--	
3. Bermas	3.1 Implementación de berma.	Todos	--	-8	--	-6
4. Límites de Velocidad	4.1 Aumento límite de velocidad existente entre 15,0 y 18,6 km/hr.	Todos	26	16	16	--
	4.2 Disminución límite de velocidad existente entre 13,1 y 15,0 km/hr.	Todos	-15	-14	-5	--
5. Dispositivos para el Control de la Velocidad	5.1 Bandas alertadoras en intersecciones.	Todos	--	-33	-25	--
	5.2 Señalización velocidad recomendada antes de curvas.	Todos	--	-13	-29	--

*: Área Despejada: Área lateral del camino de hasta 9 m de ancho, donde no existen obstáculos que impidan la circulación de vehículos errantes.

** :Aplicable a accidentes de vehículos errantes.

Cuadro N°10 (continuación)
Factores Reducción de Accidentes

Tipo de Medida	Medida	Accidentes Tratados	% de reducción de accidentes			
			con fallecidos	con lesionados	sin lesionados	Total
6. Mejoramientos en Área Despejada*	6.1 Disminución de pendiente desde 1:3 a 1:4.	Con Vehículos Errantes Involucrados	--	-42**	-29**	--
	6.2 Disminución de pendiente desde 1:4 a 1:6.	Con Vehículos Errantes Involucrados	--	-22**	-24**	--
	6.3 Eliminación de obstáculos entre 1 m y 5 m de la calzada.	Con Vehículos Errantes Involucrados	--	--	--	-22**
	6.4 Eliminación de obstáculos entre 5 m y 9 m de la calzada.	Con Vehículos Errantes Involucrados	--	--	--	-44**
7. Mejoramientos Alineamiento Horizontal	7.1 Aumento del radio de curva horizontal desde menos de 200 m al rango 200-400 m.	Todos	--	--	--	-50
	7.2 Aumento del radio de curva horizontal desde el rango 200 -400 m al rango 400-600 m.	Todos	--	--	--	-33
	7.3 Aumento del radio de curva horizontal desde el rango 400 -600 m al rango 600-1.000 m.	Todos	--	--	--	-50
	7.4 Aumento del radio de curva horizontal desde el rango 600 -1000 m al rango 1.000-2.000 m.	Todos	--	--	--	-18
	7.5 Aumento del radio de curva horizontal desde el rango 1.000 -2.000 m a más de 2.000 m.	Todos	--	--	--	-12
	7.6 Aumento del radio de curva horizontal desde más de 2.000 a otro mayor, pero finito.	Todos	--	--	--	0
	7.7 Aumento del radio de curva horizontal desde más de 1.000 a recta.	Todos	--	--	--	10

*: Área Despejada: Área lateral del camino de hasta 9 m de ancho, donde no existen obstáculos que impidan la circulación de vehículos errantes.

**.:Aplicable a accidentes de vehículos errantes.

Cuadro N°10 (continuación)
Factores Reducción de Accidentes

Tipo de Medida	Medida	Accidentes Tratados	% de reducción de accidentes			
			con fallecidos	con lesionados	sin lesionados	Total
8. Mejoramientos Alineamiento Vertical	8.1 Reducción de pendiente desde más 7% al rango 5% a 7%.	Entre Vehículos Motorizados	--	--	--	-20*
	8.2 Reducción de pendiente desde el rango 5% a 7% al rango 3% a 5%.	Entre Vehículos Motorizados	--	--	--	-10*
	8.3 Reducción de pendiente desde el rango 3% a 5% al rango 2% a 3%.	Entre Vehículos Motorizados	--	--	--	-10*
	8.4 Reducción de pendiente desde el rango 2% a 3% al rango 1% a 2%.	Entre Vehículos Motorizados	--	--	--	-7*
	8.5 Reducción de pendiente desde el rango 1% a 2% a menos de 1%.	Entre Vehículos Motorizados	--	--	--	-2*
9. Mejoramiento Visibilidad	9.1 Remoción de obstáculos visuales en costado de la vía.	Todos	--	--	--	-20
10. Iluminación	10.1 Iluminación vía.	Con Baja Visibilidad o Noche	-64**	-28**	-17**	--
	10.2 Aumento del nivel de iluminación de la vía desde 2 a 5 veces al existente previamente.	Con Baja Visibilidad o Noche	--	-13**	-9**	--
	10.3 Aumento del nivel de iluminación de la vía desde 5 o más veces al existente previamente.	Con Baja Visibilidad o Noche	-50**	-32**	-47**	--
	10.4 Iluminación de vías de alta velocidad.	Con Baja Visibilidad o Noche	--	--	--	-25

*: Área Despejada: Área lateral del camino de hasta 9 m de ancho, donde no existen obstáculos que impidan la circulación de vehículos errantes.

** :Aplicable a accidentes de vehículos errantes.

Cuadro N°10 (continuación)
Factores Reducción de Accidentes

Tipo de Medida	Medida	Accidentes Tratados	% de reducción de accidentes			
			con fallecidos	con lesionados	sin lesionados	Total
11. Demarcación	11.1 Demarcación de líneas de bordes y eje central en curvas.	Todos	--	-24	--	--
	11.2 Demarcación de líneas de bordes y eje central más delineadores en curvas.	Todos	--	-45	--	--
	11.3 Demarcación de distancia recomendada entre vehículos (símbolo en ángulo) en carreteras.	Todos	--	-56	--	--
12. Medidas de Segregación de Conflictos	12.1 Implementación de mediana en vías de más de dos pistas.	Todos	--	-12	-18	--
	12.2 Segregación con demarcación de pistas en intersecciones de vías interurbanas en Cruz.	Todos	--	-57	--	--
	12.3 Segregación física de movimientos en intersecciones.	Todos	--	--	--	-30
	12.4 Implementación de pista para ciclistas.	Todos	--	--	--	-4
	12.5 Construcción By-pass.	Todos	--	-25	-27	--
	12.6 Desnivelar empalme.	Todos	--	--	--	-50
13. Mejoramientos del Perfil del Camino	13.1 Aumento del ancho de la vía desde sub estándar a anchos dentro normas de diseño en vías interurbanas.	Todos	--	-5	-13	--

*: Área Despejada: Área lateral del camino de hasta 9 m de ancho, donde no existen obstáculos que impidan la circulación de vehículos errantes.

** :Aplicable a accidentes de vehículos errantes.

Cuadro N°10 (continuación)
Factores Reducción de Accidentes

Tipo de Medida	Medida	Accidentes Tratados	% de reducción de accidentes			
			con fallecidos	con lesionados	sin lesionados	Total
14. Cruces Ferroviarios	14.1 Implementación de señales de advertencia y Cruz de San Andrés en cruces no regulados.	En Cruces Ferroviarios	--	--	--	-25
	14.2 Implementación de luces y sonidos de advertencia en cruces que cuentan con señales y Cruz de San Andrés.	En Cruces Ferroviarios	--	--	--	-50
	14.3 Implementación de barreras en cruces con luces y sonidos de advertencia	En Cruces Ferroviarios	--	--	--	-45
	14.4 Implementación de barreras en cruces que cuentan con sólo señales verticales de advertencia	En Cruces Ferroviarios	--	--	--	-67
	14.5 Implementar paso a desnivel.	Con Tren	--	--	--	-100*
	14.6 Luces Intermitentes	Con Tren	--	--	--	-65*
	14.7 Mejoramiento alineamiento horizontal	En Cruces Ferroviarios	--	--	--	-35
	14.8 Mejoramiento alineamiento vertical	Con Tren	--	--	--	-45*
	14.9 Mejoramiento alineamiento vertical y horizontal	Con Tren	--	--	--	-60*
	14.10 Mejorar delineación	En Cruces Ferroviarios	--	--	--	-25
	14.11 Iluminación	Con Tren	--	--	--	-15*
	14.12 Señales Verticales	En Cruces Ferroviarios	--	--	--	-15

*: Área Despejada: Área lateral del camino de hasta 9 m de ancho, donde no existen obstáculos que impidan la circulación de vehículos errantes.

** :Aplicable a accidentes de vehículos errantes.

Cuadro N°10 (continuación)
Factores Reducción de Accidentes

Tipo de Medida	Medida	Accidentes Tratados	% de reducción de accidentes			
			con fallecidos	con lesionados	sin lesionados	Total
15. Túneles	15.1 Iluminación de túnel	En Túnel	--	-35	--	--
	15.2 Aumento del ancho del túnel desde menos de 6 m a más de 6 m.	En Túnel	--	-40	--	--
	16.1 Reducción en el número de accesos privados por kilómetro desde sobre 30 al rango 16 a 30.	Todos	--	-29	--	--
16. Disminución de fricción lateral	16.2 Reducción en el número de accesos privados por kilómetro desde el rango 16 a 30 al rango 6 a 15.	Todos	--	-31	--	--
	16.3 Reducción en el número de accesos privados por kilómetro desde el rango 6 a 15 a menos de 6.	Todos	--	-25	--	--

Fuente: Estudio: Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept. 2007 y SIEC-2 de Carabineros.

*: Área Despejada: Área lateral del camino de hasta 9 m de ancho, donde no existen obstáculos que impidan la circulación de vehículos errantes.

** :Aplicable a accidentes de vehículos errantes.

La aplicación de estos factores de reducción a las tasas anuales de accidentabilidad para la situación SP permite determinar inmediatamente el ahorro -en cantidad de accidentes o en sus consecuencias- generado por la medida de seguridad para cualquier año de evaluación. Estos factores deben ser aplicados sólo sobre aquellos tipos de accidentes determinados por la columna "Accidentes Tratados". Por otra parte, la columna "Accidentes Totales" reemplazará a las tasas de reducción del resto de las columnas solo en los casos donde éstas no contengan valores específicos. Este ahorro puede ser determinado por la siguiente relación.

$$TACP_{ij} = TAH_{ij} * (1 + FR_{ij})$$

Donde:

$TACP_{ij}$ son los accidentes Anuales con Proyecto del tipo i, con consecuencias j;

i son accidentes con atropellos, choques, colisiones, volcaduras o caídas;

j son accidentes con fallecidos ó sólo lesionados;

TAH_{ij} son accidentes Anuales históricos tipo i y consecuencia j ;

FR_{ij} es el factor de Reducción Medida para accidente de tipo i y consecuencia j (en tanto por uno);

Cabe considerar que en aquellos casos donde la información disponible solo cubre períodos entre 1 y 3 años, y la tasa de accidentes SP debió ser corregida, corresponde utilizar la misma tasa para obtener la accidentabilidad CP. Esto quiere decir que en la ecuación anterior TAH_{ij} debe ser reemplazada por TAC_{ij} .

COSTOS SOCIALES POR ACCIDENTES

Los costos sociales de accidentes de tránsito en carretera permiten cuantificar monetariamente los beneficios (positivos o negativos) asociados a la implementación de un proyecto de seguridad vial en rutas interurbanas, a partir de las diferencias en la cantidad, tipo y gravedad de los accidentes entre la situación con proyecto y la situación base.

Los costos por accidentes de tránsito son valorados a base de tres componentes:

- Costos directos
 - costos médicos;
 - daños a la propiedad;
 - costos administrativos: juzgados, policías y compañías de seguros.
- Costos indirectos
 - costos por pérdida de productividad asociada a las víctimas: valor de bienes y servicios que habrían sido producidos de no suceder el accidente
- Costo humano o valor intrínseco del riesgo: valoriza conceptos tales como: pérdida de calidad de vida, el dolor, la pena de familiares y amigos de las víctimas, pérdida intrínseca del goce de la vida y otros.

El costo humano sólo es tratado en términos metodológicos en este estudio, por lo que no se determinaron costos asociados. El objetivo es determinar costos unitarios asociados a accidentes promedio, los cuales se caracterizan de acuerdo a la clasificación que muestra el Cuadro N°11.

Cuadro N°11

Factores Reducción de Accidentes

Tipo de Accidente	N° de Veh. Involucrados	N° de Lesionados
Atropello Choque Colisión Volcadura	Vehículos Livianos Vehículos Pesados	Leve Menos Grave Grave Fallecido

Fuente: elaboración propia.

Los costos fueron estimados de forma desagregada, de manera tal que a partir de los valores unitarios pueda determinarse el costo de cualquier accidente en función de su caracterización.

I. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE ACCIDENTABILIDAD

La metodología de estimación de costos por accidentes de tránsito utilizada, se basó en una amplia recolección de antecedentes a partir de entrevistas, bases de datos y otros desarrollados en este estudio junto con antecedentes obtenidos del estudio “Investigación Diseño de Programa de Seguridad Vial Nacional”, Ministerios de Obras Públicas y Transportes y Telecomunicaciones, 1996¹³.

A. Daños materiales a vehículos

Se recopiló antecedentes de bases de datos de siniestros de compañías y liquidadores de seguros. Estas bases de datos relacionan directamente el accidente con el costo de reparación, por lo que, a partir de muestras, fue posible obtener valores medios por tipo de accidente.

El método de trabajo fue el análisis caso a caso, por cuanto las bases de datos no cuentan con un campo de clasificación del tipo de accidente. Los accidentes se clasificaron en función de la descripción del siniestro según tipo. Sólo se consideraron accidentes ocurridos en vías interurbanas. Se logró conformar una muestra total de 334 registros de accidentes interurbanos.

B. Tratamiento de lesionados

Corresponde al costo involucrado en la atención y tratamiento de las personas lesionadas en un accidente. El método de trabajo que se planificó para acometer esta tarea se basó principalmente en la obtención de datos estadísticos.

Los costos asociados a los lesionados en accidentes de tránsito fueron desagregados en tres ítems principales:

- costos de tratamiento;
- costos de rehabilitación; y
- costos por pérdida de productividad

En relación a los *costos de tratamiento de lesionados*, éstos fueron clasificados según la gravedad de sus lesiones de acuerdo con la categorización del Instituto Médico Legal, en:

- Leve;
- Menos Grave;
- Grave; y
- Fatal.

Cada lesionado que ingresa en un centro hospitalario es catalogado por el médico legal en alguna de estas categorías. En el caso de la lesión fatal, ésta considera el fallecimiento del lesionado hasta 24 horas después de ocurrido el accidente, es

¹³ El detalle del desarrollo metodológico se presenta en el Estudio: Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept 2007; Capítulo 7.

decir, accidentados que fallecen a causa de sus lesiones en un plazo mayor al indicado, quedan clasificados en la base de datos como lesionados graves.

La información recabada para el presente estudio tiene su fuente en el Hospital de Urgencia de la Asistencia Pública (HUAP) ex Posta Central. Actualmente, dicho centro asistencial lleva una estadística detallada y computacional de los accidentados del tránsito, la cual es valorada a partir de los valores de aranceles de FONASA (bono nivel 3).

Para estimar los Costos Atención de Urgencia se obtuvo una muestra de pacientes atendidos en sala de urgencia correspondientes a lesionados de accidentes de tránsito, para los meses de Enero a Noviembre del año 2006. La base de datos cuenta con cada prestación realizada a cada paciente, por ejemplo: consulta médica, examen de laboratorio, radiografías, escáner, etc. Luego, para cada nivel de gravedad de lesiones se determinó la cantidad consumida de cada prestación para todo el universo y se dividió por el total de lesionados de cada nivel. Con esto se obtiene una cantidad promedio de unidades consumidas por lesionado, la que posteriormente es valorada, obteniéndose el costo medio de la prestación por lesionado. Finalmente, la suma de los costos medios por lesionado de todas las prestaciones, representa el costo medio total.

La estimación de Costos Hospitalización se realizó de forma equivalente a la de atención de urgencia. Se obtuvo del HUAP una base de datos de pacientes lesionados en accidentes de tránsito que fueron hospitalizados durante el año 2006 (Enero a Noviembre). Se procesó en forma equivalente a lo realizado para los pacientes de urgencia, obteniendo para todos los pacientes, el total consumido de cada prestación. Luego, dividiendo por el número de pacientes, se obtuvo la cantidad media consumida por paciente, la cual fue valorada según los precios proporcionados en la misma base de datos.

Los **Costos por Rehabilitación** incluyen el conjunto de tratamientos del área salud que tienen como objetivo la reposición funcional de uno o más órganos de un accidentado y la posterior reinserción de éste en su entorno laboral y social. En particular, existe la rehabilitación física y ocupacional. La primera permite que un órgano regenere su capacidad funcional y, la segunda, permite que el accidentado recupere la capacidad de trabajo que poseía antes del accidente. De acuerdo con datos obtenidos, un 34% de las víctimas de accidentes de tránsito requiere de algún grado de rehabilitación.

Este ítem se abordó a partir de actualizar los precios de los recursos humanos consumidos en la rehabilitación, estimados en el estudio “Investigación Diseño de Programa de Seguridad Vial Nacional” (1996), ya que a la fecha no fue posible obtener nueva información. Metodológicamente, el proceso de estimación se basó en establecer precios unitarios de recursos humanos, asociados a los tratamientos de rehabilitación de las lesiones más típicas en estos casos.

El **Costo por Pérdida de Productividad** corresponde a la pérdida social asociada a la ausencia laboral de los lesionados. El método de estimación consiste en valorar

el tiempo requerido por los lesionados para restablecerse, tiempo durante el cual dejan de generar, producto de su ausencia al trabajo. Se determinó el número medio de días (tanto de hospitalización como de convalecencia en el hogar) asociados a los distintos niveles de gravedad de lesiones.

Por otra parte, se determinó un costo social medio por día en recuperación, utilizando como indicador las remuneraciones promedio nacionales, las cuales están disponibles estratificadas por sexo y rango de edad (cada 5 años). Luego, se determinó un valor medio por día de recuperación de un lesionado a partir de la distribución por sexo y edad de los lesionados obtenida de la estadística de accidentes, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CMDR = \frac{12}{365} * \left[\frac{\sum_j \left\{ NL_j * \sum_i (RMM_{ij} * P_{ij} * PO_{ij}) \right\}}{\sum_j NL_j} \right]$$

Donde:

CMDR es el costo medio diario de recuperación de un lesionado en \$/día (nótese que corresponden a días corridos);

RMM_{ij} es la remuneración media mensual de un individuo de sexo *i* en el rango de edad *j*;

P_{ij} es la proporción de los lesionados que son de sexo *i* y rango de edad *j*. Esta fue determinada para los tres últimos años que se dispone de información (2003 - 2004 - 2005);

PO_{ij} es la proporción de la población ocupada de sexo *i* y rango de edad *j*;

NL_j es el número de lesionados totales en el rango de edad *j*;

C. Costos administrativos

En el caso de los costos administrativos, se consideró necesario validar la estimación de consumos de recursos obtenidos en el estudio "Investigación Diseño de Programa de Seguridad Vial Nacional" (1996), por lo que se procedió a recopilar nueva información. Los costos administrativos de juzgados, liquidadores de seguros, compañías de seguros y policía están enfocados sólo a los recursos humanos involucrados, ya que los otros costos que intervienen resultan muy difíciles de estimar.

Para determinar los valores de consumos de horas producto de los procesos judiciales asociados a los accidentes de tránsito, *Costos de Juzgados*, se recopiló información en el 1er Juzgado de Policía Local de Santiago (accidentes sin lesionados y lesionados leves) y en la Fiscalía Local de La Florida (accidentes con lesionados menos graves, graves y fatales), a través de entrevista con Juez de Policía Local y Fiscal respectivamente. Adicionalmente, se consultó sobre salarios

de los respectivos profesionales y personal que interviene en los juicios. El costo asociado a Testigos, Lesionados y Conductores, se obtuvo a partir del valor estimado para la pérdida de productividad por día.

Los recursos humanos empleados por las compañías de seguro para el estudio de los accidentes, *Costos Administrativos de Compañías de Seguros*, corresponden a los estimados en el estudio “Investigación Diseño de Programa de Seguridad Vial Nacional” (1996).

Por último, los *Costos Administrativos de la Policía* corresponden al tiempo empleado por Carabineros de Chile se estimó a partir de una entrevista con un oficial de carabineros. Junto con ello se consultó por el salario típico del funcionario dedicado a estas labores, a fin de estimar un valor hora. Este beneficio supone que el funcionario de Carabineros tiene un costo de oportunidad social equivalente a su salario; es decir, que por cumplir esta función deja de cumplir otras. A mediano y largo plazo, ello implica que la disminución del número de accidentes debería redundar en una disminución de la dotación de funcionarios.

D. Costo de una muerte estadística

El enfoque elegido para determinar el costo de un fallecido debido a un accidente de tránsito fue el método de la pérdida de capital humano. Este enfoque no pretende dar valor a la vida humana sino sólo determinar una valoración de la pérdida de producción futura al fallecer una persona. El cálculo se fundamenta en:

- La estimación es ex-ante y no ex-post de la ocurrencia de muerte.
- Se utiliza como una aproximación a la productividad los ingresos futuros esperados, sin considerar ingresos por rentas, intereses, transferencias y otros que no corresponden a una labor productiva específica.
- Se estima la productividad de una dueña de casa equivalente al salario medio nacional¹⁴.
- Se estima como un promedio ponderado que considera a los niños, desempleados y personas inactivas.

Esto da un valor único equivalente a cualquier muerte estadística a nivel nacional. El cálculo se estima a partir de la siguiente fórmula:

$$CH = \sum_{n=a}^V P_{a,s}(n) E_s(n) Y_s(n) \frac{(1+T)^{n-a}}{(1+r)^{n-a}}$$

Donde:

a es la edad del fallecido;

n es el año de cálculo;

¹⁴ Se realizar este supuesto como una aproximación al costo de oportunidad social del empleo: el salario de reserva de una ama de casa es mayor al salario que le ofrece el mercado; de otra manera las dueñas de casa elegirían trabajar.

V es la esperanza de vida (73 años para hombre y 79 años para mujeres);

T es la tasa de aumento de la productividad;

$Ys(n)$ es el ingreso medio anual de la persona empleada o dueña de casa de sexo (s) y edad (n);

$Es(n)$ es la proporción de la población general de edad (n) y sexo (s) empleada en la fuerza laboral u ocupada en labores domésticas;

$Pa,s(n)$ es la probabilidad de una persona de la población general de edad (a) y sexo (s) de sobrevivir subsecuentemente a la edad (n);

r es la tasa de descuento;

II. VALORACIÓN DE COSTOS DE ACCIDENTABILIDAD A PRECIOS SOCIALES

Para determinar los costos sociales de los *Daños Materiales a los Vehículos*, el valor privado estimado fue desagregado de acuerdo a una estimación de las proporciones entre repuestos y mano de obra. Luego, para los repuestos (típicamente importados) se consideró el factor social de la divisa y para la mano de obra los factores sociales respectivos.

Se consideró que una cuadrilla de trabajo está compuesta por un “maestro”, que corresponde a mano de obra calificada y un ayudante, mano de obra semi-calificada. Por tanto, el factor social de la mano de obra corresponde al promedio de los factores de mano de obra calificada y semi-calificada.

Además, los valores estimados corresponden a valores con IVA, por lo que para obtener el valor social se debe descontar el IVA.

Luego, el factor social para los daños materiales a vehículos queda dado por:

$$FS = \frac{\%R_IMP * fs_div + \%MO * fs_mo}{(1 + IVA)}$$

Donde:

$\%R_IMP$ es la proporción del costo correspondiente a repuestos (0,60);

$\%MO$ es la proporción del costo correspondiente a mano de obra (0,40);

fs_div es el factor social de la divisa (1,01);

fs_mo es el factor social de la mano de obra (0,83);

IVA es 0,19;

El factor social resultante corresponde a 0,79.

En el caso de *Atención de Lesionados*, el gasto por accidentes se descompone básicamente en mano de obra y equipamiento (principalmente hospitalario). No resultó posible, a partir de la información disponible, establecer la proporción de cada uno de estos componentes en los costos.

La mano de obra básicamente corresponde a mano de obra calificada (médicos, enfermeras, abogados, etc.), excepto el caso de los mismos lesionados cuya composición no es conocida. El factor indicado por MIDEPLAN es de 0,98 para mano de obra calificada. Por otra parte, el equipamiento e insumos hospitalarios, son principalmente importados, por lo que el valor social se asocia al factor social de la divisa, que es de 1,01.

De acuerdo con lo anterior, claramente el factor social asociado a los costos por lesionados, independientemente de las proporciones entre mano de obra y equipamiento será muy cercano a 1,0. Por ello, se propuso considerar en este caso un valor social equivalente al valor privado de los recursos involucrados.

Los siguientes cuadros reportan los valores sociales unitarios de los costos de accidentes de tránsito interurbanos, calculados en UF a los fines de simplificar su aplicación (UF igual a \$21.455,55 pesos al 31 de Diciembre de 2010).

Cuadro N°12

Costo Medio Social por Daños a Vehículos por Tipo de Accidente (en UF de 31/12/2010)

Tipo de Accidente	Costo Social (UF/Veh)	
	Vehículos Livianos	Vehículos Pesados
Atropello	21,91	10,89
Choque	87,15	214,55
Colisión	80,33	322,37
Volcadura	210,76	423,10

Fuente: Estudio: Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept. 2007 y SIEC-2 de Carabineros. Actualizado y corregido por MIDEPLAN-SECTRA 2011.

Cuadro N°13

Costos Sociales Totales Asociados a Lesionados (en UF de 31/12/2010)

Nivel de Gravedad	Tratamiento Lesionados	Gastos Administrativos	Capital Humano	Total
Leve	3,91	23,95	-	27,86
M. Grave	11,36	24,99	-	36,34
Grave	84,99	48,53	-	133,52
Fatal	15,82	86,52	3.360,34	3.462,69

Fuente: Estudio: Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept. 2007 y SIEC-2 de Carabineros. Actualizado y corregido por MIDEPLAN-SECTRA 2011.

Cuadro N°14

Costo Social por Accidentes Sin Lesionados (en UF de 31/12/2010)

Daño Vehículos Livianos	Daño Vehículos Pesados	Gastos Administrativos
13,43	12,36	23,58

Fuente: Estudio: Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept. 2007 y SIEC-2 de Carabineros. Actualizado y corregido por MIDEPLAN-SECTRA 2011.

Las tasas de reducción de accidentes producto de un mejoramiento en la seguridad del camino, están asociadas a accidentes tipo promedio. Un accidente promedio está caracterizado por un tipo de accidente, macro-zona o región y tipo de camino. Se han definido 48 tipos de accidentes promedio a partir de la combinatoria de la siguiente clasificación:

- Según clase de accidente
 - Atropello
 - Choque
 - Colisión
 - Volcadura
- Según tipo de camino
 - No pavimentado
 - Pavimentado 2 pistas
 - Pavimentado 4 pistas
 - Camino concesionado
- Según Zona Geográfica
 - Zona Norte (I a IV Región)
 - Zona Centro (V y RM)
 - Zona Sur (VI a XII Región)

El costo de cada uno de estos accidentes promedios depende de la cantidad de vehículos involucrados según tipo (livianos, pesados), cantidad media de lesionados leves, cantidad media de lesionados menos graves, cantidad media de lesionados graves y cantidad media de fallecidos.

Luego, para cada accidente promedio, el costo social asociado se determina según la siguiente expresión, a partir de los datos presentados en los Cuadros N°12, N°13 y N°14.

$$CAP_{ikz} = CVL_i * NVL_{ikz} + CVP_i * NVP_{ikz} + CLL * NLL_{ikz} + CLM * NLM_{ikz} + CLG * NLG_{ikz} + CF * NF_{ikz}$$

Donde:

CAP_{ikz} es el costo del accidente promedio tipo i, en el camino tipo k, en la zona geográfica z, en UF/acc;

CVL_i es el costo por daños materiales de un vehículo liviano en un accidente tipo i , en UF/veh;

CVP_i es el costo por daños materiales de un vehículo pesado en un accidente tipo i , UF/veh;

CLL es el costo de un lesionado leve, en UF/lesionado;

CLM es el costo de un lesionado menos grave, en UF/lesionado;

CLG es el costo de un lesionado grave, en UF/lesionado;

CF es el costo de un fallecido, en UF/fallecido;

NVL_{ikz} es la cantidad de vehículos livianos involucrados en el accidente promedio tipo i , en un camino tipo k y zona geográfica z , en vehículos/accidente;

NVP_{ikz} es la cantidad de vehículos pesados involucrados en el accidente promedio del tipo i , en un camino tipo k y zona geográfica z , en vehículos/accidente;

NLL_{ikz} es la cantidad de lesionados leves en el accidente promedio del tipo i , en el camino tipo k y zona geográfica z , en lesionados/accidente;

NLM_{ikz} es la cantidad de lesionados menos graves en el accidente promedio del tipo i , en el camino tipo k y zona geográfica z , en lesionados/accidente;

NLG_{ikz} es la cantidad de lesionados graves en el accidente promedio del tipo i , en el camino tipo k y zona geográfica z , en lesionados/accidente;

NF_{ikz} es la cantidad de fallecidos en el accidente promedio del tipo i , en el camino tipo k y zona geográfica z , en lesionados/accidente;

Los valores de las tasas de vehículos involucrados por accidente o tasa por tipo de lesionado por accidente se determinan de acuerdo a la siguiente expresión:

$$NV_{ij} = \frac{\sum V_{ij}}{NA_i}$$

Donde:

NV_{ij} es la cantidad promedio de víctimas o vehículos por accidente tipo i y con j : nivel de lesión o tipo de vehículo;

NA_i es el número de accidentes tipo i en la Situación sin Proyecto;

V_{ij} es el número de víctimas o vehículos en accidentes tipo i y con j : nivel de lesión o tipo de vehículo;

i es el total de atropellos, choques, colisiones, volcaduras;

j es el total de fallecidos, lesionados graves, lesionados menos graves, lesionados leves, vehículos livianos o vehículos pesados;

Por otra parte, no se dispone de información respecto de accidentes sin lesionados, los cuales sólo consideran costos por daño a vehículos y costos administrativos.

Luego, para determinar un valor promedio de costo por accidente sin lesionados, se supuso que la tasa de vehículos involucrados por accidente (autos y vehículos pesados) es equivalente a la media nacional en accidentes con lesionados. Esto dio como resultado una tasa de 0,97 autos/acc y 0,41 vp/acc.

Aplicando la siguiente fórmula se obtiene un valor promedio de costo para accidentes sin lesionados (en pesos de Diciembre de 2010):

$$CSASL = COSTOADM + Ta * CDa + Tvp * CDvp$$

Donde:

CSASL es el costo Social Accidentes Sin Lesionados (\$/acc);

COSTOADM es el costo Administrativo (\$/acc);

CDa es el costo unitario por daños en autos (\$/auto);

CDvp es el costo unitario por daños a vehículo pesado (\$/vp);

Ta es la tasa de participación de autos en accidentes (autos/acc);

Tvp es la tasa de participación de vehículos pesados en accidentes (vp/acc);

En el Cuadro N°15 se presentan los valores resultantes para cada uno de los tipos de accidentes definidos y separadamente por macro-zona y tipo de camino.

Cada proyecto en particular deberá definir qué elementos de seguridad serán implementados y calcular los costos privados de inversión que tendrán estos para el proyecto en específico. Luego, se deberán aplicar factores de corrección definidos por MIDEPLAN y así obtener los costos sociales de las medidas.

Cuadro N°15

Costo Unitario de Accidentes Promedio (UF 31/12/2010 por accidente)

Por tipo de accidente, según Tipo de Camino y Macro-zona				
Tipo de Camino	Tipo de Accidente	Zona Norte (I a IV Reg.)	Zona Central (V Reg. y RM)	Zona Sur (VI a XII Reg.)
		UF/Accidente	UF/Accidente	UF/Accidente
2 pistas no pavimentadas	Atropello	1.392,45	1.320,87	1.176,85
	Choque	860,67	642,00	783,83
	Colisión	970,79	830,18	641,88
	Volcadura	750,85	939,51	714,52
2 pistas pavimentadas	Atropello	1.643,65	1.221,20	1.702,82
	Choque	613,61	624,01	649,15
	Colisión	1.436,37	740,89	1.083,85
	Volcadura	849,28	768,82	832,70
4 pistas pavimentadas	Atropello	1.589,91	1.589,91	1.321,13
	Choque	1.248,35	1.248,35	600,05
	Colisión	661,04	661,04	835,46
	Volcadura	482,32	482,32	744,40
Autopista	Atropello	2.018,43	1.923,96	2.097,60
	Choque	503,64	505,70	722,27
	Colisión	1.211,73	950,98	1.245,27
	Volcadura	779,82	712,08	678,50
Accidentes Sin Lesionados	41,67			

Fuente: Estudio: Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas. CIMA Ingeniería EIRL. Sept. 2007 y SIEC-2 de Carabineros. Actualizado y corregido por MIDEPLAN-SECTRA 2011.

ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS

I. PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL CON EFECTOS EN SEGURIDAD

La estimación de los beneficios de los proyectos viales que incluyen a los accidentes dentro del análisis, se desarrolla a través de las siguientes etapas:

- Obtención del número de accidentes esperado para cada año del período de evaluación, clasificado según tipo de accidente, para la situación SP, ya sea aplicando el modelo lineal o econométrico en la estimación de la reducción de accidentes, de acuerdo con el tipo de proyecto.
- Obtención del número de accidentes esperado para cada año del período de evaluación, clasificado según tipo de accidente, para la situación CP, ya sea aplicando el modelo lineal o econométrico en la estimación de la reducción de accidentes, de acuerdo con el tipo de proyecto.
- Obtención de los costos totales asociados a cada tipo de accidente para el período en evaluación, de acuerdo con la vida útil del proyecto, para ambas situaciones (SP y CP).
- Obtención de los beneficios económicos anuales de los accidentes evitados a partir del diferencial de costos totales por tipo de accidente. Los beneficios económicos anuales totales por concepto de accidentes se deben sumar a los beneficios anuales por los otros conceptos incorporados en la evaluación del proyecto vial; ahorros de tiempo de viaje de las personas y de la carga, así como ahorros de costos de operación de los vehículos, preferentemente.

La suma de todos los beneficios por período, al ser comparada con los costos por período, se utilizan para obtener los indicadores de rentabilidad del proyecto en su globalidad, siguiendo los criterios de rentabilidad especificados posteriormente.

II. PROYECTOS DE SEGURIDAD VIAL

La estimación de los beneficios de los proyectos viales que incluyen a los accidentes dentro del análisis, se desarrolla a través de las siguientes etapas:

- Obtención del número de accidentes esperado para cada año del período de evaluación, clasificado según tipo de accidente, y su consecuencia (accidentes con fallecidos, sin fallecidos, o sin lesionados), para la situación SP.
- Obtención del número de accidentes esperado para cada año del período de evaluación, clasificado según tipo de accidente, y su consecuencia, para la situación CP, aplicando los factores de reducción sobre la situación, de acuerdo con el tipo de proyecto y los “accidentes tratados”.

- Obtención del número y tipo de accidentes evitados por el proyecto en seguridad vial para cada período de evaluación, de acuerdo con la vida útil del proyecto.
- Obtención de los beneficios económicos anuales considerando el costo social unitario de los accidentes evitados multiplicado por el número y tipo de accidentes evitados en el mismo período. La obtención de los costos sociales de cada accidente-tipo y consecuencia se obtienen siguiendo la metodología propuesta y las cantidades históricas propias del proyecto. En el último año de vida útil del proyecto se debe agregar el valor residual del proyecto

Para el caso de proyectos de seguridad vial, definidos a través de considerar sólo medidas específicas que mejoran la seguridad, los beneficios se comparan directamente con los costos de las medidas adoptadas.

La suma de todos los beneficios por período, al ser comparada con los costos por período, se utilizan para obtener los indicadores de rentabilidad del proyecto, siguiendo los criterios de rentabilidad especificados posteriormente.

COSTOS DE INVERSIÓN

La metodología de evaluación que se ha desarrollado busca incorporar los impactos, normalmente beneficios, de proyectos viales que tienen efectos en los niveles de seguridad. Tanto la experiencia internacional como en Chile indican la existencia de diferencias importantes en las tasas de accidentes cuando un camino cambia de estándar, cuando aumenta su capacidad o cuando se adoptan medidas específicas en sectores riesgosos. El no considerarlas, introduce un sesgo en las evaluaciones de proyectos viales.

Para los *proyectos de infraestructura vial*, definidos anteriormente, la estimación de los costos de inversión, de conservación y explotación deberá hacerse de acuerdo con las metodologías usuales de proyectos de vialidad:

- Proyectos de nuevos caminos
- Proyectos de mejoramiento de caminos
- Proyectos de aumento de capacidad

Estos tres tipos de proyectos tienen estándares definidos y conocidos, por lo cual el costo de inversión considera la totalidad de las inversiones, incluyendo los estándares que fijan los manuales de señalización de tránsito y de seguridad.

En tanto, en los *proyectos de seguridad* los costos de inversión corresponden a medidas específicas no contempladas en los proyectos de cambio de estándar.

De acuerdo a la metodología para la determinación de precios sociales en la evaluación social de proyectos, definida por MIDEPLAN, el procedimiento seguido para determinar los costos sociales de medidas específicas de seguridad vial es el siguiente:

- Costos privados de elementos de seguridad.
- Corrección de factores básicos del costo de medidas de seguridad.
- Determinación del precio social de tratamientos de seguridad.

Los precios sociales se definen como el costo económico o de oportunidad de los bienes y servicios producidos y consumidos por el proyecto. En situación de equilibrio competitivo, el “costo de oportunidad” de los factores de producción es igual a su precio de mercado. No obstante, cuando los mercados presentan distorsiones es necesario incorporar en la evaluación social las correcciones correspondientes para determinar los verdaderos costos de oportunidad de los factores. El Sistema Nacional de Inversiones actualiza e informa anualmente los diferentes precios sociales que se presentan a continuación.

La *tasa social de descuento* corresponde al costo de oportunidad social del capital o costo de oportunidad en que incurre el país cuando utiliza recursos para financiar proyectos. Estos recursos provienen del menor consumo (o mayor

ahorro), menor inversión privada y financiamiento externo¹⁵. Las tasas de descuento a utilizar en la evaluación a precios privados, deben reflejar el costo del capital de cada sector y por tanto, ser estimadas para cada proyecto.

El *precio sombra de la divisa* corrige las distorsiones en los sectores de bienes y servicios transables internacionalmente (aranceles y/o subsidios) y está determinado por la oferta y demanda en conjunto con la estructura arancelaria. De esta forma, debe calcularse sobre la base del tipo de cambio del dólar observado (TC Obs.). La fórmula para el cálculo del precio social de la divisa es:

$$PSD = F * TCObs$$

Donde:

PSD es el precio social de la divisa;

F es el factor de ajuste social de la divisa;

TCObs es el tipo de cambio observado;

El *precio sombra de la mano de obra* se estima a partir del enfoque de eficiencia (Harberger¹⁶), adaptando su aplicación a las condiciones del mercado laboral. Corresponde al costo marginal en que incurre la sociedad por emplear un trabajador adicional de cierta calificación y en una determinada actividad. Se entiende por *mano de obra calificada* a aquellos trabajadores que desempeñan actividades cuya ejecución requiere estudios previos o amplia experiencia (por ejemplo profesionales, técnicos, obreros especializados como maestros de primera, mecánicos, electricistas, artesanos, pintores, carpinteros u otros). *Mano de obra semi calificada* corresponde a los trabajadores que desempeñan actividades para las cuales no se requiere estudios previos y cuya experiencia no los califica para ser considerados mano de obra calificada. Está conformada por maestros de segunda, asociados a las tareas de albañilería, pintura, carpintería y otros. Por último, *mano de obra no calificada* corresponde a aquellos trabajadores que desempeñan actividades cuya ejecución no requiere de estudios ni experiencia previa; tal el caso de jornaleros, cargadores y personas sin oficio definido. La fórmula para el cálculo del precio social de la mano de obra es:

$$PSMO_j = G_j * WObs_j$$

Donde:

$PSMO_j$ es el precio social de la mano de obra de calificación j (calificada, semicalificada, no calificada);

G_j es el factor de ajuste social de la mano de obra de calificación j (calificada, semicalificada, no calificada);

¹⁵ De esta forma, la tasa social de descuento depende de la tasa de preferencia intertemporal del consumo, de la rentabilidad marginal de la inversión privada y de la tasa de interés de los créditos externos.

¹⁶ Harberger, A. (2002). Ministerio de Planificación de Chile.

$WObs_j$ es el salario bruto observado de la mano de obra de calificación j (calificada, semicalificada, no calificada);

Existen otros mercados que presentan distorsiones y en los cuales corresponde la estimación de precios sociales: MIDEPLAN también estima el *valor social del tiempo*, el *precio social del combustible y lubricantes* y la mano de obra de *mantención*. El Cuadro N°16 muestra otras correcciones de precios pertinentes en este tipo de proyectos.

Cuadro N°16
Ajustes de otros precios sociales

	Inversión Inicial	Operación, mantención, monitoreo y transporte
Terreno (expropiaciones)	Valor de Mercado sin corrección	N/A
Otros bienes e insumos nacionales	Valor de Mercado menos IVA	Valor de Mercado menos IVA
Materiales importables	(Valor de Mercado sin corrección IVA y menos aranceles) * PSD	(Valor de Mercado menos IVA y menos aranceles)* PSD
Gastos Generales y Utilidades	VM menos IVA	VM menos IVA

Fuente: Elaboración propia en base SNI, MIDEPLAN (2010).

La definición de los precios sociales de cada elemento de seguridad analizado requiere determinar la descomposición del precio privado, en particular lo concerniente a insumos importados y mano de obra. La información recogida da cuenta de una fuerte componente correspondiente a importación de insumos, que por ejemplo en el caso de Amortiguadores de Impacto puede llegar hasta el 75% del valor del elemento instalado. Los porcentajes en el caso de la demarcación y señalización vertical son menores, pero por sobre el 15% del valor total del dispositivo instalado.

La mano de obra requerida, por la naturaleza de los elementos, suele ser calificada o semi-calificada.

ANÁLISIS DE RENTABILIDAD Y COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS

El análisis de rentabilidad permite estimar los indicadores que servirán de guía para la toma de decisión y recomendación de ejecución del proyecto, su postergación, reformulación o rechazo. La evaluación o valoración de los beneficios del proyecto implica la realización de dos etapas consecutivas: primero, la evaluación a precios privados y luego, la evaluación social.

La *evaluación a precios privados* permite estimar la factibilidad y viabilidad de las inversiones privadas asociadas al proyecto y estimar la pertinencia y conveniencia de establecer mecanismos de transferencias (subsidios o impuestos) cuando el valor actual neto de los beneficios privados es diferente del valor actual neto de los beneficios sociales. Asimismo, la evaluación a precios privados permite identificar la potencialidad de financiamiento del proyecto por parte del sector privado.

La *evaluación social* tiene por objetivo desarrollar el análisis comparado de la conveniencia de realizar el proyecto desde el punto de vista social y considerando todos los propósitos. La evaluación desde el punto de vista de la sociedad puede hacerse a precios de mercado, siempre que dichos precios reflejen adecuadamente la escasez de insumos y productos desde el punto de vista social. En caso contrario, deberían hacerse todos los ajustes correspondientes.

I. INDICADORES DE RENTABILIDAD

Los indicadores de rentabilidad más frecuentemente usado corresponden al valor actual de los beneficios y la tasa interna de retorno. El *Valor Actual Neto Social (VANS)* del proyecto está dado por:

$$VANS = \sum_{i=0}^t \sum_{j=1}^n \frac{-I_0 + BSD_i^j + BSIS_i^j + BSX_i^j + CCM_i^j}{(1 + r^*)^i}$$

Donde:

VANS es el valor actual neto social del proyecto;

I₀ es la inversión inicial;

BSD_{ji} son los beneficios sociales directos del componente *j*;

BSIS_{ji} son los beneficios sociales indirectos y secundarios del componente *j*;

BSX_{ji} son los beneficios netos sociales por externalidades del componente *j*;

CCM_{ji} son los costos sociales de operación y mantenimiento del componente *j*;

n es el total de componente del proyecto vial (ahorro de tiempo, de costos de operación, de accidentes, y otros posibles beneficios);

r^* es la tasa social de descuento;

t es el horizonte de evaluación social del proyecto.

Si el proyecto tiene VANS positivo, es conveniente su ejecución; en caso contrario debe recomendarse su rechazo o reformulación. Si el VANS es cero, en ausencia de otro tipo de consideraciones, la sociedad debería ser indiferente a ejecutar o no el proyecto. No obstante, al tomar la decisión sobre la ejecución del proyecto, deben considerarse todos los beneficios y costos que no pudieron ser debidamente cuantificados y valorados.

El otro indicador de rentabilidad habitualmente utilizado es la *Tasa Interna de Retorno Social (TIRS)*, la que mide la rentabilidad promedio que tiene un determinado proyecto, suponiendo que los flujos se reinvierten en el mismo proyecto y a una tasa constante. Matemáticamente, corresponde a la tasa de descuento que hace el VANS igual a cero. La TIRS se usa complementariamente al VANS, ya que son criterios equivalentes y se estima de la siguiente manera:

$$0 = \sum_{i=0}^t \sum_{j=1}^n \frac{-I_0 + BSD_i^j + BSIS_i^j + BSX_i^j}{(1 + p^*)^i}$$

Donde:

p^* es la tasa interna social de retorno;

El criterio de decisión al utilizar la TIRS es el siguiente: i) si $p^* > r^*$, es conveniente ejecutar el proyecto; ii) si $p^* < r^*$, no es conveniente ejecutar el proyecto.

A. Horizonte de evaluación

El *horizonte de evaluación* corresponde a los años de vida útil del proyecto. En la mayoría de obras de infraestructura vial es común utilizar un período de 20 y 30 años. No obstante, con alta probabilidad las obras tienen una vida útil más allá de este período. Si es así, todos los beneficios netos que se producen a partir de ese momento, deben ser actualizados e incorporados como *valor residual*.

B. Valor residual

Cualquiera sea el indicador de rentabilidad utilizado, el *valor residual*, estimado al cabo de la vida útil del proyecto, podrá ser estimado económicamente o por otro método (en general el valor patrimonial), siempre que éste último se justifique adecuadamente. El *valor residual económico* se estima como el VANS del flujo futuro de beneficios netos del proyecto desde el año n (horizonte de evaluación) hasta el año $n+m$. No obstante, suele utilizarse frecuentemente un enfoque "ingenieril", denominado *valor patrimonial*, que estima el valor residual a partir de las funciones de deterioro de la infraestructura y las políticas de conservación aplicadas. A los fines de la presente metodología, ambos enfoques se consideran válidos en la medida en que sean adecuadamente respaldados con información fiable y verificable.

II. PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS

La priorización de proyectos es relevante para el formulador cuando debe planificar el programa de inversiones y respetar la premisa de maximizar el bienestar social con los recursos disponibles.

Cuando *no existe racionamiento de capitales* y los *proyectos son independientes*, deben aceptarse todos los proyectos que tienen *VANS* positivo, a la tasa de descuento pertinente (Fontaine, 2001) y ordenarlos de mayor a menor de acuerdo a este indicador.

No obstante, cuando los proyectos son *interdependientes*, el orden dependerá de la tasa de descuento: a algunas tasas, convendrá un set de proyecto y a otras tasas, otro conjunto. Aún a pesar de lo anterior, el mejor criterio sigue siendo el de asignar los fondos a los proyectos de *mayor VANS*, dado que son aquellos que mayor aumento de la riqueza producen a la sociedad. De este forma, dados 2 proyectos A y B, debe calcularse el *VANS* de A, el *VANS* de B y el *VANS* de A+B y decidir entre las alternativas, aquella que tenga mayor *VANS*.

Con *racionamiento de capitales*, si los *proyectos pudieran venderse*, el presupuesto se maximiza estimando el *IVANS*:

$$IVANS = \frac{VANS}{VAIoS}$$

Donde:

IVANS es el indicador de *VANS* por peso invertido;

VANS es el valor actual neto social de la inversión pública;

VAIoS es el valor actual de la inversión inicial estimado a precios sociales.

Ordenando los proyectos de acuerdo al *IVANS*, mayor a menor se agota el presupuesto, maximizando su valor. No obstante, el criterio del *IVANS* sólo es válidamente aplicable al caso de los *proyectos cuyas inversiones duran un año* y en que en los años siguientes no habrá restricciones presupuestarias.

Cuando la *restricción presupuestaria es de corto y mediano plazo*, un año por ejemplo, el criterio relevante es la *tasa imputada de retorno social (TIPRS)*, que equivale a la *TIRS* de los años con restricción presupuestaria, suponiendo que ésta luego se levanta. En forma generalizada, la *TIPRS(m)* puede estimarse a partir de:

$$VANS = IoS + \sum_{j=1}^{n-m} \frac{BNS(n-m)}{(1+p^{(n-m)})^j} + \sum_{i=n-m+1}^n \frac{BNS(i)}{(1+r^*)^i}$$

Donde:

VANS es el valor actual neto social de la inversión pública;

I_0 es la inversión inicial estimado a precios sociales (la inversión dura un año).

$BNS(n-m)$ son los beneficios netos sociales de los años de vida útil del proyecto en los cuales existe restricción de capitales;

$\rho^{(n-m)^i}$ es la tasa imputada de retorno de los años de vida útil del proyecto en los cuales existe restricción de capitales;

m son los períodos sin restricción de capitales;

$BNS(i)$ son los beneficios netos sociales de los restantes años de vida útil del proyecto;

r^* es la tasa social de descuento (igual para todos los períodos sin restricción de capitales);

El argumento de *restricción temporal de capitales* resta aplicabilidad a la *TIRS* como criterio de priorización, ya que esta última supone que los fondos podrán reinvertirse permanentemente a la misma tasa. De este modo, si la tasa de descuento cambia dentro del horizonte de vida útil del proyecto, el procedimiento de descontar los flujos a una misma tasa no es correcto (Fontaine, 2001). Así, con racionamiento de capitales la regla recomendada consiste en calcular la *TIPRS* y ordenar los proyectos en forma decreciente de acuerdo a ésta hasta agotar el presupuesto. No obstante, la regla no será válida si no se agota exactamente el presupuesto.

III. MOMENTO ÓPTIMO DE INICIO

En los proyectos de vialidad, tanto de infraestructura como de seguridad, los beneficios son crecientes en el tiempo, dado que son en general función del crecimiento demográfico de los países, así como de su nivel promedio de ingreso y riqueza. Por ello, es imprescindible estimar el momento óptimo de ejecución de las obras: el VANS puede incrementarse porque el costo de postergar (accidentes esperados no evitados) será menor que el beneficio de postergar (costo de oportunidad de los fondos destinados a la inversión).

A. Proyectos con vida útil infinita

En proyectos donde la medida de seguridad tenga una vida útil infinita, el criterio de momento óptimo de inversión se determina por la *Tasa de Retorno Inmediata* (TRI), según la siguiente ecuación.

$$r^* = \frac{B_t}{I_0}$$

Donde:

B_t son los beneficios netos por reducción de accidentes, incluyen costos de operación y mantención, en el período t ;

I_0 es la inversión inicial;

n es la vida útil del proyecto;

r^* es la tasa social de descuento;

El momento óptimo de inversión será el período t donde los beneficios del período divididos por la inversión inicial sean mayores que la tasa social de descuento. Para el caso donde se requiera analizar la conveniencia de realizar un proyecto inmediatamente de debe analizar si B_1/I_0 es menor, mayor o igual que r^* (Si B_1/I_0 es menor que r^* habrá que postergar).

B. Proyectos con vida útil finita y sin reinversión

En proyectos que contemplen incorporar una medida de seguridad que tiene vida útil finita, pero que una vez terminada ésta no se reinvierta en ella, se debe calcular el momento óptimo de inversión de la siguiente manera:

$$(r^*)^* I_0 = B_t - \frac{B_{t+n+1}}{(1+r^*)^n}$$

B_t son los beneficios netos por reducción de accidentes, incluyen costos de operación y mantención, en el período t ;

B_{t+n+1} son los beneficios netos por reducción de accidentes, incluyen costos de operación y mantención, en el período $t+n+1$. Son los beneficios perdidos por no postergar;

I_0 es la inversión inicial, que debe volver a reinvertirse una vez finalizada la vida útil del proyecto;

n es la vida útil del proyecto;

r^* es la tasa social de descuento;

El momento óptimo de inversión será el período t donde los beneficios ganados menos los perdidos sean mayores que la expresión a la izquierda en la ecuación. Para el caso donde se requiera analizar la conveniencia de realizar un proyecto inmediatamente de debe analizar si r^*I_0 es menor, mayor o igual que la expresión a la derecha (Si r^*I_0 es mayor habrá que postergar).

C. Proyectos con vida y con reinversión

En caso que el proyecto contemple reinvertir al final de la vida útil de la medida con el fin de mantener ésta se debe calcular el momento óptimo de inversión en el proyecto de la siguiente manera:

$$\frac{I_0 * (1+r^*)^n * r^*}{(1+r^*)^n - 1} = B_t$$

Donde:

B_t son los beneficios netos por reducción de accidentes, incluyen costos de operación y mantención, en el período t

I_0 es la inversión inicial, que debe volver a reinvertirse una vez finalizada la vida útil del proyecto

n es la vida útil del proyecto;

r^* es la tasa social de descuento;

El momento óptimo de inversión será el período t donde los beneficios sean mayores que la expresión en la izquierda de la ecuación. Para el caso donde se requiera analizar la conveniencia de realizar un proyecto inmediatamente se debe analizar si B_1 es menor, mayor o igual que la expresión a la izquierda (Si B_1 es menor habrá que postergar).

IV. TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN ÓPTIMA

Habitualmente, la optimización del proyecto tiene relación con la determinación del tamaño y localización óptima de ejecución del proyecto. Sin embargo, por la naturaleza de los proyectos y suponiendo que las asignaciones de inversión son realizadas a partir del análisis de momento óptimo, el apartado se limitará al análisis de tamaño y localización óptima.

El *tamaño óptimo* indica la escala de obras que maximiza el VANS de la alternativa de proyecto y puede estimarse suponiendo que la inversión se incrementa o reduce en determinada escala. Si el VANS de aumentar el tamaño del proyecto ($T_0 + \Delta T$) es menor que el estimado inicial (T_0), la recomendación es materializar la iniciativa con el tamaño estimado. Inversamente, si el VANS de reducir el tamaño del proyecto es mayor, éste debe disminuirse en su tamaño; este análisis debe repetirse, estimando el VANS de continuos aumentos y reducciones del proyecto hasta que se encuentre la relación:

$$VANS (T^*) > VANS (T + \Delta T)$$

Donde:

T^* y $T + \Delta T$ son los diferentes tamaños de las alternativas de proyecto;

Este mismo análisis puede aplicarse a los fines de la estimación de la localización óptima del proyecto, siguiendo la siguiente regla:

$$VANS (L^*) > VANS (L_i)$$

Donde:

L^* es la localización óptima;

L_i son diferentes alternativas de localización, competitivas entre sí; es decir, que satisfacen el mismo problema;

CONSIDERACIONES FINALES

La metodología desarrollada para estimar beneficios de proyectos que mejoran la seguridad vial tiene algunas limitaciones, algunas de las cuales se han mencionado anteriormente. Producto de estas limitaciones hay algunos impactos de la reducción de accidentes que no se encuentran medidos, lo cual no obsta que sean incorporados en la evaluación; entre ellos:

- Número de lesionados graves evitados
- Número de muertes evitadas
- Número de accidentes sin lesionados evitados

Si bien los dos primeros han sido incorporados en la evaluación, con una estimación del costo basada solamente en la pérdida de productividad (costo de capital humano), la experiencia internacional indica que esta cifra es una fracción menor del verdadero costo social que se genera por parte de un lesionado grave como, en especial, por una pérdida de vida, más allá de la pérdida de productividad. En general se reconoce que, detrás de los valores económicos de estos efectos sociales que generan los accidentes, hay juicios éticos o de valor, así como una relación directa con el “estado de riqueza” de un país (en el sentido que finalmente el valor de la vida humana estará vinculado a la “disposición a pagar” de la sociedad por evitar una muerte). En tal sentido, los conceptos de dolor, pena y sufrimiento que generan lesiones graves y muertes, tanto para el afectado como para todo su grupo familiar y social, representan un valor social superior al incorporado en la estimación de beneficios.

Por otra parte, la base de datos de accidentes provista por Carabineros, considera solamente accidentes con lesionados, por lo cual, un número importante de accidentes no están incluidos en el análisis. Algunos expertos sugieren que el número de accidentes sin lesionados en el ámbito urbano podría duplicar el número de accidentes.

El alcance limitado en esta primera metodología responde a las deficiencias en la información sobre accidentes de tránsito, las características viales específicas de la localización de cada accidente, la información de tránsito y otros datos que, una metodología más completa y rigurosa, requiere.

Si bien, en una primera etapa de aplicación, la metodología tendrá este alcance más restringido, se busca lograr en el tiempo una evolución que permita ir mejorando su calidad y, sobre todo, apoyar el desarrollo de mejores proyectos que incrementen los niveles de seguridad en el país. La evaluación de proyectos siempre debe entenderse, no como un fin en sí misma, sino como un instrumento para mejorar la calidad en la formulación de los proyectos y como contribución a la toma de decisiones.

Relacionado al punto anterior, la información podría ser mejorada si a los formularios de atención se le incluye una mejor clasificación de las lesiones (no sólo la médico-legal), en particular para lesionados graves, ya que existe un espectro demasiado amplio de lesiones y niveles de costo dependiendo si se requiere hospitalización o no. Además, en pacientes hospitalizados también hay una gran variabilidad, la que depende de los días de hospitalización (que van de un par de días hasta semanas e incluso meses). Obviamente, si se desagrega la clasificación de gravedad de las lesiones, esta debe ser incorporada a la base de datos de carabineros. Por otra parte, no existe información sobre los lesionados que requieren rehabilitación. La información de la asistencia pública no incluye ninguna prestación posterior a la atención hospitalaria (controles médicos, rehabilitación). Podría recomendarse que la base de datos considerara incorporar las indicaciones médicas dadas al egresar del hospital: días de reposo, controles médicos, requerimientos de rehabilitación incluyendo cantidad de sesiones por especialidad, etc.

Respecto de los costos asociados a la pérdida de productividad (por días de convalecencia) o la determinación del valor de una vida estadística por medio del concepto de capital humano, habría al menos que agregar otros valores asociados al costo humano: el dolor, la pena, el sufrimiento; los cuales no sólo están asociados a los fallecidos, sino también a los lesionados.

Respecto de los costos de daños materiales a vehículos, sigue siendo muy difícil obtener información, aunque básicamente ésta existe ya que las compañías de seguro sistematizan adecuadamente dicha información pero en general no están dispuestas a entregarla. Podría buscarse la posibilidad de algún convenio con la asociación de aseguradoras para que las compañías entreguen información. Eso sí debe agregarse datos como la clasificación de los accidentes y si en el accidente hubo o no lesionados.

En otro sentido, la calidad de los modelos de predicción y las tasas de accidentes dependen de la calidad de las bases de datos, particularmente de los datos de accidentes, de las características viales y de los datos de niveles de tránsito. Se sugiere avanzar en disponer de mejor información sobre tránsito en sectores viales y de una caracterización más completa de la vialidad en la red nacional, incorporando información de características geométricas, con lo cual es posible estudiar el efecto de curvaturas y visibilidad. Ambas cosas ya permitirían mejorar la modelación realizada. Asimismo, si se mejora la base de datos de Carabineros, en particular la localización, es posible lograr aún mejores resultados, tasas y modelos de mayor confiabilidad. Así también es recomendable recoger información de accidentes para proyectos de reposición vial (reponer el estándar original) con el objeto de poder estimar tasas y/o modelar la ocurrencia de accidentes, estimando el impacto de este tipo de proyectos.

Un aspecto que surgió como interesante de estudiar es el efecto de la velocidad en las tasas de accidentes. En particular, aparece una tasa consistentemente menor de

accidentes en caminos de dos pistas (una por sentido) con estándar concesionado, en comparación con una carretera de calzada doble, también estándar concesión, lo cual cambia el orden habitual en estos casos. Una diferencia importante entre ambas situaciones es la velocidad máxima autorizada de circulación en que en el caso de 4 pistas es de 120 km/hora en lugar de 100 km/hora en calzada simple.

Por último, parece especialmente rescatable el hecho de que los análisis ex post realizados de proyectos viales en que se ejecutaron medidas de seguridad, resultaron con una alta rentabilidad (30%), confirmando resultados previos de la experiencia nacional e internacional. Es claramente recomendable aumentar el número de proyectos a nivel nacional dirigidos a identificar e implementar medidas específicas de seguridad, en que un gran número de ellas cuentan con un nivel de eficacia probada en términos de mejorar los niveles de seguridad vial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1988. Banco Mundial. Evaluation Results for 1998. Issues in World Bank Lending Over Two Decades. Washington, DC.

2007. CIMA Ingeniería EIRL: Estudio: Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas.

1992. Cohen, E. y Franco, R.: Evaluación de proyectos sociales. México: Siglo Veintiuno.

1992. Coloma, F: "Evaluación Social de Proyectos", Banco Mundial, Bolivia, marzo-abril.

2004. Elvik: Handbook of Road Safety Measures".

2001. Fontaine, Ernesto. Evaluación Social de Proyectos. Pontificia Universidad Católica de Chile, Instituto de Economía.

1972. Harberger, A. "Evaluación de proyectos", MacMillan Press Ltd, Londres y Basingstoke, Inglaterra.

2006. Interamerican Development Bank. Manual de evaluación económica de proyectos de transporte.

1992. MIDEPLAN. Inversión Pública: Eficiencia y Equidad. Departamento de Inversiones.

2005. NCHRP: Crash Reduction Factors for Traffic Engineering and Intelligent Transportation System (ITS) Improvements:State-of-Knowledge Report. Research Results Digest 299. (http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rrd_299.pdf).

1999. Pasqual, J.: La evaluación de políticas y proyectos. Criterios de valoración económicos y sociales. Icaria editorial, Universidad Autónoma de Barcelona, España.

1995. Sapag, N. y Sapag, R.: "Preparación y Evaluación de Proyectos". 3ra Edición. McGraw Hill Interamericana S. A.

1996. Vizzio, M.: "Recopilación de fundamentos de evaluación de inversiones". Folleto Edición Maestría en Formulación, Evaluación y Administración de Proyectos de Inversión. Córdoba, Argentina.

APLICACIÓN METODOLÓGICA RUTA T-85, LAGO RANCO – CALCURRUPE

A modo de aplicación de la metodología en proyectos viales, se analizó la incorporación del beneficio por reducción de accidentes al proyecto de mejoramiento en la Ruta T-85 entre Lago Ranco y Calcurrupe. Este proyecto en la Región de Los Ríos considera el mejoramiento de la vía, cambiando desde Ripio a Camino Pavimentado de 2 pistas, para un total 23,45 kilómetros divididos en dos tramos.

I. ANTECEDENTES

Período de Ejecución: 2008-2009

Ubicación: Zona Sur, Ruta T-85, Lago Ranco – Calcurrupe

Descripción:

Descripción	Ubicación		Longitud
	Km i	Km f	km
Tramo 1	8,74	22,64	13,9
Tramo 2	31,2	40,75	9,55
Total			23,45

TMDA:

	A	C	C2E	C+2E	B	Total
TMDA 2008	180	165	32	6	37	420
Tasa Crecimiento	3,7%	2,1%	2,8%	3,5%	4,1%	3,04%
TMDA Proyectado 2010	194	172	34	6	40	446

Se obtuvieron los siguientes datos de la base de accidentes de los tramos:

Cantidad de Accidentes: Por año, solo para los accidentes ubicados en los tramos 1 y 2.

Cuenta de Tipo	Año				Total general
	2004	2005	2006	2007	
Tipo de Accidente					
Atropello	1	2		1	4
Choque		1			1
Colisión		2	1	2	5
Volcadura	1		3		4
Total general	2	5	4	3	14

II. OBTENCIÓN DE LA TASA HISTÓRICA DE ACCIDENTES

A partir de los datos anteriores el primer paso para obtener los beneficios consiste en calcular la tasa de accidentes histórica particular al proyecto, aplicando la fórmula:

$$Nv_j = \frac{\sum_{m \in J} v_m}{\sum_{n \in J} TMDA_n \times F_n \times L_n} \times K$$

De la tabla de cantidad de accidentes, TMDA y longitud del tramo se debe obtener una tasa promedio por cada tipo de accidente, considerando todos los años de la base datos.

Cuenta de Tipo	Año				
Tipo de Accidente	2003	2004	2005	2006	2007
Atropello	0	1	2	0	1
Choque	0	0	1	0	0
Colisión	0	0	2	1	2
Volcadura	0	1	0	3	0
Otro	0	0	0	0	0
Total general	0	2	5	4	3
TMDA	362	373	384	396	408

Por ejemplo, para el caso de Atropellos el año 2004, la tasa se calcula de la siguiente manera:

$$tasa_j = \frac{1}{373 \cdot 23,45 \cdot 365} \cdot 10.000.000 = 3,14$$

De esta manera las tasas históricas quedan de la siguiente manera:

Tasas	Año					
Tipo de Accidente	2003	2004	2005	2006	2007	Promedio
Atropello	0,00	3,14	6,09	0,00	2,87	2,42
Choque	0,00	0,00	3,04	0,00	0,00	0,61
Colisión	0,00	0,00	6,09	2,95	5,73	2,95
Volcadura	0,00	3,14	0,00	8,86	0,00	2,40
Otro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	0,00	6,27	15,21	11,81	8,60	8,38

III. SITUACIÓN SIN PROYECTO

En primer lugar se debe calcular el número de accidentes en la situación base a partir de los modelos presentados. Para determinar cuál de los dos modelos utilizar (modelo lineal o econométrico), primero se debe analizar si el modelo econométrico cumple con las condiciones para su uso. Debido a que la situación SP es un camino no pavimentado, los β 's no se encuentran calibrados y por lo tanto no se cumplen las condiciones para el uso del modelo econométrico, y se deberá utilizar el modelo lineal para estimar Y en ambas situaciones.

La metodología propone estimar la cantidad de accidentes a partir de la siguiente ecuación

$$N = \alpha Y + (1 - \alpha)A$$

A. Calculo de Y sin proyecto

La metodología entrega las siguientes tasas lineales:

Tasas Lineales (Zona Sur)	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Otro	Total
Camino no Pavimentado	1,24	0,93	2,12	2,33	0,14	6,76

Luego utilizando las formulas de estimación, se obtienen la cantidad de accidentes, por tipo para los años de evaluación del proyecto.

$$Y = \frac{Tasa \cdot VK}{10.000.000}$$

$$VK = TMDA \cdot Longitud \cdot 365$$

Año	TMDA ¹⁷	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Otro	Y lineal
2010	446	0,47	0,35	0,81	0,89	0,05	2,58
2011	459	0,49	0,37	0,83	0,92	0,06	2,66
2012	473	0,50	0,38	0,86	0,94	0,06	2,74
2013	488	0,52	0,39	0,89	0,97	0,06	2,82
2014	503	0,53	0,40	0,91	1,00	0,06	2,91
2015	518	0,55	0,41	0,94	1,03	0,06	3,00
2016	534	0,57	0,42	0,97	1,06	0,06	3,09
2017	550	0,58	0,44	1,00	1,10	0,07	3,18
2018	566	0,60	0,45	1,03	1,13	0,07	3,28
2019	584	0,62	0,46	1,06	1,16	0,07	3,38
2020	601	0,64	0,48	1,09	1,20	0,07	3,48
2021	620	0,66	0,49	1,12	1,24	0,07	3,58
2022	638	0,68	0,51	1,16	1,27	0,08	3,69
2023	658	0,70	0,52	1,19	1,31	0,08	3,81
2024	678	0,72	0,54	1,23	1,35	0,08	3,92
2025	698	0,74	0,56	1,27	1,39	0,08	4,04
2026	719	0,76	0,57	1,31	1,43	0,09	4,16
2027	741	0,79	0,59	1,35	1,48	0,09	4,29
2028	764	0,81	0,61	1,39	1,52	0,09	4,42
2029	787	0,84	0,63	1,43	1,57	0,09	4,55

B. Calculo de A sin proyecto

Para obtener el número de accidentes históricos (A) se deben utilizar las tasas históricas calculadas anteriormente:

Tasas Datos Históricos	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Otro	Total
Camino no Pavimentado	2,42	0,61	2,95	2,40	0,00	8,38

La cantidad de accidentes por tipo son:

¹⁷ Los valores estimados de TMDA para el horizonte de evaluación del proyecto provienen del TMDA 2008 y de su tasa promedio de crecimiento, en la sección antecedentes.

Año	TMDA	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Otro	A
2010	446	0,92	0,23	1,13	0,92	0,00	3,20
2011	459	0,95	0,24	1,16	0,94	0,00	3,30
2012	473	0,98	0,25	1,20	0,97	0,00	3,40
2013	488	1,01	0,25	1,23	1,00	0,00	3,50
2014	503	1,04	0,26	1,27	1,03	0,00	3,60
2015	518	1,07	0,27	1,31	1,06	0,00	3,71
2016	534	1,10	0,28	1,35	1,10	0,00	3,83
2017	550	1,14	0,29	1,39	1,13	0,00	3,94
2018	566	1,17	0,30	1,43	1,16	0,00	4,06
2019	584	1,21	0,30	1,48	1,20	0,00	4,19
2020	601	1,24	0,31	1,52	1,23	0,00	4,31
2021	620	1,28	0,32	1,57	1,27	0,00	4,44
2022	638	1,32	0,33	1,61	1,31	0,00	4,58
2023	658	1,36	0,34	1,66	1,35	0,00	4,72
2024	678	1,40	0,35	1,71	1,39	0,00	4,86
2025	698	1,44	0,36	1,77	1,43	0,00	5,01
2026	719	1,49	0,37	1,82	1,48	0,00	5,16
2027	741	1,53	0,39	1,87	1,52	0,00	5,32
2028	764	1,58	0,40	1,93	1,57	0,00	5,48
2029	787	1,63	0,41	1,99	1,62	0,00	5,64

C. Calculo de α sin proyecto

Luego de encontrar la cantidad de accidentes históricos y estimados, estos se deben ponderar con el fin de obtener la cantidad de accidentes de la situación base.

$$\alpha = \frac{1}{1 + \phi Y}$$

$$\phi = 0,51$$

Así, para cada año el ponderador será:

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
α	43,9%	43,2%	42,5%	41,7%	41,0%	40,3%	39,6%	38,9%	38,1%	37,4%
Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
α	36,7%	36,0%	35,4%	34,7%	34,0%	33,3%	32,7%	32,0%	31,4%	30,7%

D. Calculo de N sin proyecto

De esta manera a partir de los valores calculados en los puntos anteriores se obtiene la cantidad de accidentes estimados para la situación base:

Año	TMDA	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Otro	N
2010	446	0,73	0,29	0,99	0,90	0,02	2,93
2011	459	0,75	0,29	1,02	0,93	0,02	3,02
2012	473	0,78	0,30	1,06	0,96	0,02	3,12
2013	488	0,81	0,31	1,09	0,99	0,02	3,22
2014	503	0,84	0,32	1,13	1,02	0,02	3,32
2015	518	0,86	0,33	1,16	1,05	0,02	3,43
2016	534	0,90	0,33	1,20	1,08	0,02	3,54
2017	550	0,93	0,34	1,24	1,12	0,03	3,65
2018	566	0,96	0,35	1,28	1,15	0,03	3,77
2019	584	0,99	0,36	1,32	1,19	0,03	3,89
2020	601	1,03	0,37	1,37	1,22	0,03	4,01
2021	620	1,06	0,38	1,41	1,26	0,03	4,14
2022	638	1,10	0,39	1,46	1,30	0,03	4,27
2023	658	1,14	0,40	1,50	1,34	0,03	4,41
2024	678	1,17	0,42	1,55	1,38	0,03	4,55
2025	698	1,21	0,43	1,60	1,42	0,03	4,69
2026	719	1,26	0,44	1,65	1,46	0,03	4,84
2027	741	1,30	0,45	1,71	1,51	0,03	4,99
2028	764	1,34	0,46	1,76	1,55	0,03	5,15
2029	787	1,39	0,48	1,82	1,60	0,03	5,32

IV. SITUACIÓN CON PROYECTO

El desarrollo de la situación con proyecto es similar al realizado en la situación base, en primer lugar se debe estimar la cantidad de accidentes en base a los modelos, luego según la información histórica, y finalmente ponderar ambas.

A. Calculo de Y con proyecto

Debido a que en la situación base se utilizó el modelo lineal se deberá aplicar este mismo para la situación con proyecto. Las tasas son

Tasas Lineales (Zona Sur)	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Otro	Total
Camino no Pavimentado	0,75	0,53	1,46	0,76	0,04	3,54

De esta manera, se estiman la cantidad de accidentes por tipo en cada año de evaluación:

Año	TMDA ¹⁸	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Otro	Y lineal
2010	446	0,29	0,20	0,56	0,29	0,02	1,35
2011	459	0,29	0,21	0,57	0,30	0,02	1,39
2012	473	0,30	0,21	0,59	0,31	0,02	1,43
2013	488	0,31	0,22	0,61	0,32	0,02	1,48
2014	503	0,32	0,23	0,63	0,33	0,02	1,52
2015	518	0,33	0,23	0,65	0,34	0,02	1,57
2016	534	0,34	0,24	0,67	0,35	0,02	1,62
2017	550	0,35	0,25	0,69	0,36	0,02	1,67
2018	566	0,36	0,26	0,71	0,37	0,02	1,72
2019	584	0,37	0,26	0,73	0,38	0,02	1,77
2020	601	0,39	0,27	0,75	0,39	0,02	1,82
2021	620	0,40	0,28	0,77	0,40	0,02	1,88
2022	638	0,41	0,29	0,80	0,42	0,02	1,93
2023	658	0,42	0,30	0,82	0,43	0,02	1,99
2024	678	0,44	0,31	0,85	0,44	0,02	2,05
2025	698	0,45	0,32	0,87	0,45	0,02	2,12
2026	719	0,46	0,33	0,90	0,47	0,02	2,18
2027	741	0,48	0,34	0,93	0,48	0,03	2,25
2028	764	0,49	0,35	0,95	0,50	0,03	2,31
2029	787	0,51	0,36	0,98	0,51	0,03	2,38

B. Calculo de A con proyecto

Como se indica en la metodología la información histórica del tramo debe ser proyectada a la situación con proyecto. Esto se debe realizar utilizando la razón de tasas lineales y la cantidad de accidentes históricos:

¹⁸ Los valores estimados de TMDA para el horizonte de evaluación del proyecto provienen del TMDA 2008 y de su tasa promedio de crecimiento, en la sección antecedentes.

$$A_{c/p}^j = A_{s/p}^j \left(\frac{tasa(lineal)_{c/p}^j}{tasa(lineal)_{s/p}^j} \right)$$

Tasas Datos Históricos	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Otro	Total
Camino no Pavimentado	1,24	0,93	2,12	2,33	0,14	6,76
Camino Pavimentado 2 Pistas	0,75	0,53	1,46	0,76	0,04	3,54
Razón de Tasas	0,60	0,57	0,69	0,33	0,29	

Luego, tal como lo indica la ecuación anterior, las razones se deben multiplicar por la cantidad de accidentes históricos de la situación base por tipo de accidente, en cada año de evaluación

Año	TMDA	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Otro	A
2010	446	0,56	0,13	0,78	0,30	0,00	1,77
2011	459	0,57	0,14	0,80	0,31	0,00	1,82
2012	473	0,59	0,14	0,82	0,32	0,00	1,87
2013	488	0,61	0,14	0,85	0,33	0,00	1,93
2014	503	0,63	0,15	0,88	0,34	0,00	1,99
2015	518	0,65	0,15	0,90	0,35	0,00	2,05
2016	534	0,67	0,16	0,93	0,36	0,00	2,11
2017	550	0,69	0,16	0,96	0,37	0,00	2,18
2018	566	0,71	0,17	0,99	0,38	0,00	2,24
2019	584	0,73	0,17	1,02	0,39	0,00	2,31
2020	601	0,75	0,18	1,05	0,40	0,00	2,38
2021	620	0,78	0,18	1,08	0,41	0,00	2,45
2022	638	0,80	0,19	1,11	0,43	0,00	2,53
2023	658	0,82	0,20	1,15	0,44	0,00	2,60
2024	678	0,85	0,20	1,18	0,45	0,00	2,68
2025	698	0,87	0,21	1,22	0,47	0,00	2,76
2026	719	0,90	0,21	1,25	0,48	0,00	2,85
2027	741	0,93	0,22	1,29	0,50	0,00	2,94
2028	764	0,96	0,23	1,33	0,51	0,00	3,02
2029	787	0,98	0,23	1,37	0,53	0,00	3,12

C. Calculo de N con proyecto

Nuevamente se deben ponderar ambas estimaciones de accidentes, y tal como se indica en la metodología, ocupando el mismo ponderador α en ambas situaciones, por lo que se utilizarán los mismos valores encontrados en la situación base.

Año	TMDA	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Otro	N
2010	446	0,44	0,16	0,68	0,29	0,01	1,59
2011	459	0,46	0,17	0,70	0,30	0,01	1,64
2012	473	0,47	0,17	0,73	0,31	0,01	1,69
2013	488	0,49	0,18	0,75	0,32	0,01	1,75
2014	503	0,51	0,18	0,78	0,33	0,01	1,80
2015	518	0,52	0,19	0,80	0,34	0,01	1,86
2016	534	0,54	0,19	0,83	0,35	0,01	1,92
2017	550	0,56	0,20	0,85	0,36	0,01	1,98
2018	566	0,58	0,20	0,88	0,38	0,01	2,05
2019	584	0,60	0,21	0,91	0,39	0,01	2,11
2020	601	0,62	0,21	0,94	0,40	0,01	2,18
2021	620	0,64	0,22	0,97	0,41	0,01	2,25
2022	638	0,66	0,22	1,00	0,42	0,01	2,32
2023	658	0,69	0,23	1,04	0,44	0,01	2,40
2024	678	0,71	0,24	1,07	0,45	0,01	2,47
2025	698	0,73	0,24	1,10	0,46	0,01	2,55
2026	719	0,76	0,25	1,14	0,48	0,01	2,63
2027	741	0,79	0,26	1,18	0,49	0,01	2,72
2028	764	0,81	0,26	1,21	0,51	0,01	2,81
2029	787	0,84	0,27	1,25	0,52	0,01	2,90

V. CALCULO DE COSTOS

Una vez determinada la cantidad de accidentes estimados en ambas situaciones, se deben estimar los costos totales asociados a dichos accidentes:

Por tipo de accidente, según Tipo de Camino y Macro-zona		
Tipo de Camino	Tipo de Accidente	Zona Sur UF/Accidente
2 pistas no pavimentadas	Atropello	1.176,85
	Choque	783,83
	Colisión	641,88
	Volcadura	714,52
2 pistas pavimentadas	Atropello	1.702,82
	Choque	649,15
	Colisión	1.083,85

	Volcadura	832,7
--	------------------	-------

Debido a que no están determinados los costos por accidente del tipo “Otro”, éste no se considera dentro de los beneficios.

Los costos por accidentes para la situación SP son:

Año	TMDA	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Total
2010	446	857 UF	224 UF	635 UF	646 UF	2.362 UF
2011	459	887 UF	230 UF	656 UF	666 UF	2.439 UF
2012	473	918 UF	236 UF	678 UF	686 UF	2.518 UF
2013	488	950 UF	242 UF	700 UF	707 UF	2.600 UF
2014	503	984 UF	249 UF	723 UF	729 UF	2.684 UF
2015	518	1.018 UF	256 UF	747 UF	751 UF	2.771 UF
2016	534	1.053 UF	263 UF	771 UF	774 UF	2.861 UF
2017	550	1.090 UF	270 UF	796 UF	798 UF	2.953 UF
2018	566	1.128 UF	277 UF	822 UF	822 UF	3.049 UF
2019	584	1.167 UF	284 UF	849 UF	847 UF	3.147 UF
2020	601	1.207 UF	292 UF	877 UF	873 UF	3.249 UF
2021	620	1.249 UF	300 UF	905 UF	900 UF	3.354 UF
2022	638	1.292 UF	308 UF	935 UF	927 UF	3.462 UF
2023	658	1.336 UF	317 UF	965 UF	956 UF	3.574 UF
2024	678	1.382 UF	325 UF	996 UF	985 UF	3.689 UF
2025	698	1.430 UF	334 UF	1.029 UF	1.015 UF	3.807 UF
2026	719	1.479 UF	343 UF	1.062 UF	1.046 UF	3.930 UF
2027	741	1.529 UF	353 UF	1.097 UF	1.078 UF	4.056 UF
2028	764	1.581 UF	362 UF	1.132 UF	1.111 UF	4.187 UF
2029	787	1.635 UF	372 UF	1.169 UF	1.145 UF	4.321 UF

Los costos por accidentes para la situación CP son:

Año	TMDA	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Total
2010	446	750 UF	106 UF	739 UF	246 UF	1.840 UF
2011	459	777 UF	108 UF	763 UF	253 UF	1.901 UF
2012	473	804 UF	111 UF	788 UF	261 UF	1.964 UF
2013	488	832 UF	114 UF	814 UF	269 UF	2.029 UF
2014	503	861 UF	117 UF	841 UF	277 UF	2.096 UF
2015	518	891 UF	121 UF	868 UF	285 UF	2.165 UF
2016	534	922 UF	124 UF	896 UF	294 UF	2.236 UF
2017	550	954 UF	127 UF	926 UF	303 UF	2.310 UF
2018	566	987 UF	131 UF	956 UF	312 UF	2.386 UF
2019	584	1.021 UF	134 UF	987 UF	322 UF	2.465 UF
2020	601	1.056 UF	138 UF	1.019 UF	332 UF	2.546 UF
2021	620	1.093 UF	142 UF	1.053 UF	342 UF	2.629 UF
2022	638	1.131 UF	146 UF	1.087 UF	352 UF	2.715 UF
2023	658	1.169 UF	150 UF	1.122 UF	363 UF	2.804 UF
2024	678	1.210 UF	154 UF	1.159 UF	374 UF	2.896 UF
2025	698	1.251 UF	158 UF	1.196 UF	386 UF	2.991 UF
2026	719	1.294 UF	162 UF	1.235 UF	398 UF	3.089 UF
2027	741	1.338 UF	167 UF	1.275 UF	410 UF	3.190 UF
2028	764	1.384 UF	171 UF	1.316 UF	422 UF	3.294 UF
2029	787	1.431 UF	176 UF	1.359 UF	435 UF	3.401 UF

Así, los beneficios por reducción de accidentes provienen del diferencial de costos en ambas situaciones:

Año	TMDA	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Total
2010	446	107 UF	118 UF	-103 UF	400 UF	522 UF
2011	459	111 UF	121 UF	-107 UF	413 UF	538 UF
2012	473	115 UF	125 UF	-110 UF	425 UF	554 UF
2013	488	119 UF	128 UF	-114 UF	438 UF	571 UF
2014	503	123 UF	131 UF	-118 UF	452 UF	588 UF
2015	518	127 UF	135 UF	-122 UF	466 UF	606 UF
2016	534	131 UF	139 UF	-126 UF	480 UF	624 UF
2017	550	136 UF	142 UF	-130 UF	494 UF	643 UF
2018	566	141 UF	146 UF	-134 UF	510 UF	663 UF
2019	584	146 UF	150 UF	-138 UF	525 UF	683 UF
2020	601	151 UF	154 UF	-143 UF	541 UF	703 UF
2021	620	156 UF	159 UF	-147 UF	558 UF	725 UF
2022	638	161 UF	163 UF	-152 UF	575 UF	747 UF
2023	658	167 UF	167 UF	-157 UF	592 UF	769 UF
2024	678	173 UF	172 UF	-162 UF	610 UF	792 UF
2025	698	178 UF	177 UF	-168 UF	629 UF	816 UF
2026	719	185 UF	181 UF	-173 UF	648 UF	841 UF
2027	741	191 UF	186 UF	-179 UF	668 UF	867 UF
2028	764	197 UF	191 UF	-184 UF	688 UF	893 UF
2029	787	204 UF	197 UF	-190 UF	709 UF	920 UF

VI. CRITERIOS DE RENTABILIDAD

Una vez determinados los beneficios, estos deben sumarse a los demás beneficios y costos propios del proyecto vial. En este caso el aumento del VANS por concepto de reducción de accidentes será el valor presente de los beneficios antes determinados con una tasa social de descuento del 6%, y un valor de la UF de Diciembre de 2010 (igual a 21.455,55 pesos). De esta manera, para este proyecto en particular

- Aumento del VANS = 7.619 UF
- Aumento del VANS = \$ 163.460.726 (en pesos de diciembre de 2010).