



Metodología para la evaluación social de la reducción de accidentes urbanos

Informe Final



Mayo 2014

CONTENIDO

Introducción	iii
1 Revisión de antecedentes bibliográficos	1-1
1.1 Estudio “Análisis y definición de una metodología para la evaluación social de impactos de proyectos sobre la seguridad vial en rutas interurbanas”	1-1
1.2 Manual “Highway Safety Manual”	1-3
1.3 Estudios “Análisis y actualización de ortofotomosaico de Santiago” y “Vectorización imágenes de alta resolución, Etapas I y II”	1-8
1.4 Manual “Metodología simplificada de estimación de beneficios sociales por disminución de accidentes en proyectos de vialidad interurbana”	1-9
1.5 Artículos científicos y otros documentos de interés	1-26
1.6 Opiniones de expertos extranjeros.....	1-37
1.7 Resumen de aportes identificados	1-38
2 Identificación del universo de variables para estimación de beneficios por variación de accidentes	2-1
3 Recopilación de datos y análisis de confiabilidad	3-1
3.1 Introducción.....	3-1
3.2 Información de accidentes	3-2
3.3 Planimetrías	3-8
3.4 Información de flujos y características viales	3-26
4 Análisis de accidentabilidad.....	4-1
4.1 Caracterización de los accidentes.....	4-1
4.2 Generación de mapas de siniestralidad.....	4-12
5 Generación de información de características físico-operativas de las vías.....	5-1
5.1 Construcción de base de datos de características físico-operativas de las vías	5-1
5.2 Estimación de TMDA y procedimiento de actualización	5-4
6 Definición de procedimiento de actualización de base de datos	6-1
6.1 Fuentes de información a consultar	6-1
6.2 Temporalidad de la actualización	6-1
6.3 Método de levantamiento de información de terreno	6-1
6.4 Flujograma con interrelación de actividades.....	6-2
7 Estimación de tasas promedio y modelos econométricos de accidentes en vialidad urbana	7-1
7.1 Generación de base de datos de accidentes y características físico-operativas	7-1

7.2	Estimación de tasas de accidentabilidad	7-5
7.3	Estimación de modelos econométricos.....	7-7
8	Estimación de costos sociales de accidentes viales urbanos	8-1
8.1	Introducción.....	8-1
8.2	Actualización del vector de precios sociales de accidentes.....	8-1
8.3	Costos promedio por accidentes	8-3
9	Definición de medidas de seguridad de tránsito	9-1
9.1	Identificación de medidas de seguridad de tránsito.....	9-1
9.2	Efectos en la accidentabilidad	9-2
9.3	Estimación de costos privados y sociales de las medidas de seguridad	9-5
10	Desarrollo de metodología de incorporación de los accidentes viales urbanos en la evaluación social	10-1
10.1	Introducción, objetivos y alcance de la metodología	10-1
10.2	Tipología de proyectos de seguridad de tránsito	10-6
10.3	Definición de la situación base y con proyecto	10-7
10.4	Estimación de accidentes en las situaciones base y con proyecto	10-8
10.5	Costo social de los accidentes de tránsito	10-20
10.6	Estimación de beneficios de proyectos de seguridad de tránsito	10-24
10.7	Estimación de costos sociales de proyectos de seguridad vial en áreas urbanas	10-26
10.8	Criterios de rentabilidad social	10-31
11	Elaboración de una guía de recomendaciones metodológicas para el tratamiento de accidentes viales urbanos	11-1

INTRODUCCIÓN

El año 2011 fallecieron en Chile casi 1.600 personas en accidentes de tránsito, mientras que más de 50.000 resultaron lesionadas de diversa gravedad. El costo social de esta realidad se estima en más de 300 millones de dólares anuales, eso sin considerar la componente de costo humano asociado al dolor, pena y sufrimiento de las víctimas y sus seres queridos.

Consiente de este elevado costo social en dinero y calidad de vida, la seguridad de tránsito ha estado presente en las preocupaciones de la autoridad, y en los últimos 20 años se ha llevado a cabo una serie de iniciativas tendientes a mejorar el desempeño en esta dimensión, tales como la creación de la CONASET, modificaciones de reglamentos, intervenciones de infraestructura, desarrollo de estudios, campañas de educación, control del consumo de alcohol, etc. En particular, una de las preocupaciones de años recientes ha sido la de incorporar en la evaluación social de proyectos la seguridad de tránsito buscando reconocer el impacto positivo que con frecuencia se da con las mejoras de infraestructura. En la situación previa, es decir, aquella en que no se considera, ocurren al menos dos fenómenos indeseables: por un lado, los elementos de seguridad constituyen costos sin una contraprestación en seguridad vial que los justifique, de modo que existe un incentivo a eliminar estos elementos en los proyectos; por otro, el efecto agregado en la selección de proyectos viales debiera, necesariamente, estar sesgada hacia proyectos más inseguros.

En ese contexto, Sectra-Mideplan desarrolló en 2011 la “Metodología Simplificada de Estimación de Beneficios Sociales por Disminución de Accidentes en Proyectos de Vialidad Interurbana”, basada a su vez en un trabajo de consultoría elaborado algunos años antes.

Sin perjuicio del avance que significa la existencia de la metodología interurbana, persiste todavía la necesidad de tener una herramienta similar para el ámbito urbano. El Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana (MESPIVU, Programa de Vialidad y Transporte Urbano: SECTRA, 1988) menciona que el impacto de los accidentes de tránsito es de gran importancia social, más allá de la valoración económica de los recursos involucrados. A pesar de eso, los accidentes de tránsito no están representados en las herramientas de simulación (niveles estratégico ni táctico) de proyectos de transporte urbano en uso actualmente, en parte por tratarse de un fenómeno que recién en los últimos años se ha comenzado a investigar y cuyos desarrollos metodológicos, incluyendo técnicas de estimación, son aún incipientes.

En consecuencia, el paso natural siguiente es la elaboración de una metodología de evaluación social de los beneficios asociados al mejoramiento de la seguridad de tránsito en el ámbito urbano, lo cual constituye la finalidad del presente estudio.

El objetivo, a nivel general, de este trabajo consiste en desarrollar una metodología de estimación de los beneficios y costos asociados a la variación del número y tipo de accidentes como producto de la construcción de proyectos nuevos de infraestructura vial, así como de proyectos específicos de seguridad de tránsito en el ámbito urbano. A nivel de objetivos específicos se reconocen los siguientes:

- Estimar tasas promedio y modelos econométricos de accidentes en vialidad urbana.
- Estimar costos sociales de accidentes viales urbanos.
- Estimar costos de implementación de medidas específicas de seguridad.
- Desarrollar una metodología de incorporación de los accidentes viales urbanos a la evaluación social.
- Elaborar una guía de recomendaciones metodológicas para el tratamiento de accidentes urbanos.

La complejidad de un desarrollo metodológico como éste requirió como primera actividad un ajuste a la metodología inicial planteada. Para eso, y a partir de los términos de referencia y la experiencia del consultor y en acuerdo con la contraparte técnica, se generó una metodología de trabajo que cumple de mejor manera los objetivos del estudio e incorpora algunas precisiones y ajustes relevantes.

En primer lugar, considerando que el centro del estudio es entregar las definiciones metodológicas generales que permitan la incorporación de la variable “seguridad de tránsito” en la evaluación social de proyectos, en el marco de los procedimientos que el Ministerio de Desarrollo Social ha dispuesto para esta materia, se asumió que el contenido de este documento corresponde a un primer estudio que, principalmente, busca entregar un marco conceptual sólido y una estructura flexible con capacidad de ser perfeccionado en su capacidad predictiva y de evaluación de proyectos.

En segundo lugar, fue necesario reconocer las limitaciones de la información asociada a la caracterización de los accidentes y las condiciones en las que ocurren. Existen también grandes limitaciones en los datos asociados a las características físicas y operativas de las vías urbanas que están relacionadas con la accidentabilidad: no existen bases de datos consolidadas que contengan ese tipo de información, mucho menos si se requiere para distintos cortes temporales. En consecuencia, el foco de este estudio fue metodológico y los modelos predictivos de accidentes generados deben considerarse como

primeras versiones, que requieren ser mejoradas en el futuro en la medida de que se cuente con mejor información.

En tercer lugar, y atendiendo a la consideración anterior, así como a criterios metodológicos, se abordó el cumplimiento de los objetivos de análisis de la accidentabilidad mediante un enfoque de “muestra” más que de “censo”. En lo relacionado con la calidad de los datos, no tiene mayor sentido tratar de usar todos los datos de accidentes de una ciudad si, como se ha descrito, la información física y operativa de los lugares donde ocurrieron tiene las limitaciones descritas, máxime cuando se trata de datos distribuidos en varios años. Además, dicho enfoque arriesga incorporar un fuerte sesgo hacia la sobreestimación de los accidentes pues si se considera todos los accidentes y se calibran modelos de valor esperado de cantidad de accidentes en función de las características físicas y operativas de los lugares donde ocurren, se sesga el análisis ya que lo cierto es que en la mayoría de los lugares (segmentos de vía e intersecciones) no ocurren accidentes en un año determinado.

En definitiva, el enfoque aplicado para generar modelos de predicción de accidentes fue buscar lugares específicos (localización y año) para los cuales se dispuso de información confiable de características físicas y operativas y luego identificar la cantidad de accidentes que ocurrió en ellos en el respectivo año. Con esos datos se pudo calibrar modelos econométricos de ocurrencia de accidentes con información controlada y de buena calidad. Este enfoque fue validado a través de correo-e por los expertos extranjeros E. Hauer y R. Elvik.

El presente documento corresponde al informe final del estudio encargado a Aristo Consultores Ltda. por la Secretaría de Planificación de Transporte, SECTRA, para desarrollar una metodología de estimación de los beneficios y costos asociados a la variación del número y tipo de accidentes como producto de la construcción de nuevos proyectos de infraestructura vial y proyectos específicos de seguridad de tránsito en el ámbito urbano.

El informe está estructurado en los siguientes capítulos adicionales a esta introducción:

1. Revisión de antecedentes bibliográficos.
2. Identificación del universo de variables para estimación de beneficios por variación de la accidentabilidad.
3. Recopilación de datos.
4. Análisis de accidentabilidad.
5. Generación de información de características físico-operativas de las vías.
6. Definición de procedimiento de actualización de base de datos.
7. Estimación de tasas promedio y modelos econométricos de accidentes en vialidad urbana.
8. Estimación de costos sociales de accidentes viales urbanos .

9. Definición de medidas de seguridad de tránsito.
10. Desarrollo de metodología de incorporación de los accidentes viales urbanos en la evaluación social.
11. Elaboración de una guía de recomendaciones metodológicas para el tratamiento de accidentes viales urbanos.

Como parte del trabajo desarrollado se generó un mecanismo, que se aplicó en las ciudades analizadas, que permitió localizar parte importante de los accidentes ocurridos en el período 2008-2012. Este producto es gran importancia para el análisis de la accidentabilidad ya que permite identificar lugares donde se concentran los accidentes, antecedente que solamente estaba disponible para Santiago.

1 REVISIÓN DE ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

En el marco de esta tarea se realizó una revisión de antecedentes bibliográficos orientada a identificar información relevante para el desarrollo de las restantes tareas del estudio.

Los documentos revisados de acuerdo con lo solicitado en los términos de referencia y en la oferta del consultor fueron los siguientes:

- Estudio “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”, Mideplan - Sectra ,2007.
- Manual “Highway Safety Manual”, AASHTO, 1st Edition, 2010.
- Estudio “Análisis y Actualización de Ortofotomosaico de Santiago”, Mideplan - Sectra, 2008.
- Metodología Simplificada de Estimación de Beneficios Sociales por Disminución de Accidentes en Proyectos de Vialidad Interurbana, Mideplan - Sectra 2011.
- Artículos científicos y otros documentos de interés.
- Opiniones de expertos extranjeros a través de foros y correos electrónicos.

Parte importante de la revisión bibliográfica que aquí se presenta se refiere a los **modelos predictivos de accidentes de tránsito, los cuales se designarán a lo largo del informe como MPA.**

A continuación se reportan resumidamente los resultados de la revisión de antecedentes bibliográficos y de la opinión de los expertos extranjeros.

1.1 Estudio “Análisis y definición de una metodología para la evaluación social de impactos de proyectos sobre la seguridad vial en rutas interurbanas”

A principios de los años 80 se desarrollaron estudios en el país que analizaron los efectos en la accidentabilidad de proyectos de transporte. Esos efectos pueden ser significativos en la reducción de accidentes y, por lo tanto, generar una importante disminución del número de personas fallecidas o heridas y menores daños a la propiedad pública y privada. Sin embargo, esos efectos no fueron considerados en la toma de decisiones de inversión pública de transporte hasta hace unos pocos años atrás cuando la autoridad decidió desarrollar una metodología para evaluar socialmente el impacto en la seguridad vial de los proyectos de transporte y de seguridad vial. En una primera etapa la metodología consideró solamente el contexto interurbano.

La metodología fue desarrollada como parte del estudio denominado “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”. MIDEPLAN-SECTRA (2007).

En el desarrollo de esa metodología se buscó seguir la experiencia de países que tienen mayor experiencia en el ámbito de la seguridad vial. Como parte de ese proceso se revisaron temáticas que son relevantes también para el presente estudio, por ejemplo:

- Método para estimar la accidentabilidad que mezclan modelos predictivos de accidentes (MPA) que dependen de atributos físico-operativos de las vías y datos históricos de accidentabilidad del lugar en estudio. Dicho método se conoce como “bayesiano empírico” y representa el estado de la práctica en la predicción de accidentabilidad de tránsito. Ese fue el enfoque aplicado en el estudio que desarrolló la metodología interurbana.
- Factores de variación de la accidentabilidad que permiten estimar el efecto de una intervención o contramedida, por ejemplo, una reducción de 20% de los accidentes al implementar una mediana. Esos factores han sido obtenidos en otros países a través de estudios expost. Estimar esos factores para el caso nacional no ha sido posible y, por lo tanto, la única opción es aplicar factores reportados en la literatura extranjera especializada.
- Bases de información de accidentabilidad y características físicas de las vías. Tanto la estimación de los MPA como su posterior aplicación requieren información de calidad. En algunos países existe personal encargado de recoger esa información en cada accidente, lo que permite tener información precisa y de buena calidad. En Chile se requieren mejoras urgentes en este ámbito y en el estudio de la metodología interurbana se incluyeron recomendaciones al respecto. La CONASET inició recientemente un esfuerzo para mejorar la calidad de la información de accidentes que requiere acciones en distintos ámbitos y probablemente algunos años para que genere cambios al proceso actual.
- Valoración objetiva y subjetiva de las consecuencias de los accidentes en las personas. Las lesiones que sufren las personas no solamente pueden generar limitaciones temporales o permanentes en sus capacidades productivas (valoración objetiva) sino que también producen dolor, sufrimiento o pena (valoración subjetiva). Algunos países consideran esta última componente y le asignan un valor monetario considerable. De esta forma los proyectos de transporte que reducen la accidentabilidad o sus consecuencias se vuelven prioritarios. La metodología interurbana estimó solamente la componente objetiva del efecto en las personas.

El estudio de la metodología interurbana generó los siguientes productos:

- Metodología de estimación de la variación del número de accidentes de tránsito, asociados a los proyectos viales y de seguridad vial en el ámbito interurbano, en función de las características de diseño y operación de los proyectos. Considera el enfoque bayesiano empírico.
- Metodología de estimación de costos sociales asociados a los accidentes de tránsito interurbanos y proposición de una forma de integrarlos a la evaluación social de proyectos de transporte interurbano.
- Guía de recomendaciones metodológicas para incorporar los impactos de los accidentes de tránsito en la evaluación social de proyectos de transporte interurbano. Estableciendo procedimientos homogéneos para el tratamiento de accidentes en la estimación de costos, beneficios y rentabilidad social de los proyectos interurbanos.
- Definición de la información requerida por la metodología de análisis y evaluación económica de los accidentes interurbanos. Incluyendo recomendaciones para generar mejores bases de información.

A partir de la metodología desarrollada en el estudio descrito en esta sección, el Ministerio de Desarrollo Social elaboró un procedimiento simplificado que sirvió para generar un documento oficial que desde 2011 es válido para el proceso de evaluación social de proyectos de transporte en el país. Con el propósito de no duplicar el reporte, los detalles de la metodología para proyectos interurbanos se reportan en la sección 1.4 más adelante.

1.2 Manual “Highway Safety Manual”

El *Highway Safety Manual* (HSM) de la American Association of State Highway and Transport Officials (AASHTO) entrega herramientas para realizar análisis cuantitativos de seguridad de tránsito en proyectos de transporte. El HSM es considerado un referente mundial en lo referido al análisis de seguridad vial, en particular en cuanto al desarrollo y uso de MPA.

Las herramientas incluidas en el HSM se organizan de la siguiente forma:

- Métodos para desarrollar programas de seguridad de tránsito y evaluar sus efectos. Esto involucra identificar lugares con potencial de mejora en la seguridad de tránsito, diagnosticar las condiciones del lugar, evaluar las condiciones del lugar e identificar posibles tratamientos, priorizar y programar los tratamientos y evaluar la efectividad para reducir los accidentes de esos tratamientos. Los métodos toman en cuenta el fenómeno de regresión a la media, que puede inducir a decisiones o conclusiones erróneas sobre los lugares a tratar y/o la efectividad de las medidas adoptadas.

- Un método para predecir la frecuencia de los accidentes y su nivel de gravedad.
- Un conjunto de factores de modificación de accidentes para contramedidas geométricas u operacionales. Los factores han sido desarrollados a partir de estudios expost en el extranjero.

El HSM puede ser utilizado para proyectos de seguridad de tránsito y adicionalmente para proyectos de transporte que tradicionalmente no han incluido ese tipo de análisis, como por ejemplo proyectos de infraestructura que amplían la capacidad vial.

El HSM contiene 4 partes organizadas en 17 capítulos, como se detalla a continuación.

- **Parte A: Introducción, factores humanos y fundamentos**, describe el propósito y alcance del HSM. Contiene los siguientes capítulos.
 - Capítulo 1 Introducción
 - Capítulo 2 Factores humanos
 - Capítulo 3 Fundamentos
- **Parte B: Proceso de gestión de la seguridad de tránsito**, plantea sugerencias para monitorear y reducir la frecuencia y gravedad de los accidentes de tránsito en vías existentes. Contiene los siguientes capítulos.
 - Capítulo 4 Análisis de red
 - Capítulo 5 Diagnóstico
 - Capítulo 6 Selección de contramedidas
 - Capítulo 7 Evaluación económica
 - Capítulo 8 Priorización de proyectos
 - Capítulo 9 Evaluación de efectividad de las contramedidas
- **Parte C: Métodos predictivos**, entrega métodos para estimar la frecuencia promedio de accidentes en una red vial o un lugar específico en función del flujo vehicular y características de las vías. Contiene los siguientes capítulos.
 - Capítulo 10 Caminos rurales de 2 pistas bidireccionales
 - Capítulo 11 Autopistas rurales
 - Capítulo 12 Calles urbanas y suburbanas
- **Parte D Factores de modificación de accidentes**, estos factores cuantifican el cambio en la frecuencia promedio esperada de accidentes como resultado de cambios geométricos u operacionales en el lugar donde se implementen las contramedidas. Contiene los siguientes capítulos.
 - Capítulo 13 Tramos de vías
 - Capítulo 14 Intersecciones
 - Capítulo 15 Enlaces
 - Capítulos 16 Dispositivos viales especiales
 - Capítulo 17 Redes viales

Un planteamiento interesante del HSM es el proceso de identificación de lugares que potencialmente se beneficiarían más con la implementación de contramedidas. Para esto el HSM propone estimar el “exceso” de accidentes de un lugar comparando los accidentes que resultan de aplicar el método bayesiano empírico y la predicción generada con los MPA calibrados.

En el contexto del presente estudio un aspecto de gran importancia son los requerimientos de información que plantea el HSM para los MPA, pues son un referente para el caso nacional en el desarrollo de esta primera versión de la metodología para evaluar accidentes urbanos. El cuadro siguiente muestra las variables físico-operativas de los MPA del HSM para tramos de vía e intersecciones en los ámbitos rural y suburbano-urbano.

Tabla 1-1: Requerimientos de información para modelos predictivos de accidentes del HSM

Variables	Chapter 10 Rural Two-Lane, Two-Way Roads	Chapter 11 Rural Multilane Highways	Chapter 12 Urban and Suburban Arterials
Roadway Segments			
Area type (rural/suburban/urban)	✓	✓	✓
Annual average daily traffic volume	✓	✓	✓
Length of roadway segment	✓	✓	✓
Number of through lanes	✓	✓	✓
Lane width	✓	✓	
Shoulder width	✓	✓	
Shoulder type	✓	✓	
Presence of median (divided/undivided)		✓	✓
Median width		✓	
Presence of concrete median barrier		✓	
Presence of passing lane	✓		
Presence of short four-lane section	✓		
Presence of two-way left-turn lane	✓		✓
Driveway density	✓		
Number of major commercial driveways			✓
Number of minor commercial driveways			✓
Number of major residential driveways			✓
Number of minor residential driveways			✓
Number of major industrial/institutional driveways			✓
Number of minor industrial/institutional driveways			✓
Number of other driveways	✓		
Horizontal curve length	✓		
Horizontal curve radius	✓		
Horizontal curve superelevation	✓		
Presence of spiral transition	✓		
Grade	✓		
Roadside hazard rating	✓		
Roadside slope		✓	
Roadside fixed-object density			✓
Roadside fixed-object offset			✓
Percent of length with on-street parking			✓
Type of on-street parking			✓
Presence of lighting			✓
Intersections			
Area type (rural/suburban/urban)	✓	✓	✓
Major-road average daily traffic volume	✓	✓	✓
Minor-road average daily traffic volume	✓	✓	✓
Number of intersection legs	✓	✓	✓
Type of intersection traffic control	✓	✓	✓
Left-turn signal phasing (if signalized)			✓
Presence of right turn on red (if signalized)			✓
Presence of red-light cameras			✓
Presence of median on major road		✓	
Presence of major-road left-turn lane(s)	✓	✓	✓
Presence of major-road right-turn lane(s)	✓	✓	✓
Presence of minor-road left-turn lane(s)		✓	
Presence of minor-road right-turn lane(s)		✓	
Intersection skew angle	✓	✓	
Intersection sight distance	✓	✓	
Terrain (flat vs. level or rolling)		✓	
Presence of lighting		✓	✓

Fuente: An introduction to the Highway Safety Manual, AASHTO

El cuadro anterior muestra que para el caso urbano, que es el de interés ahora, las variables explicativas de los MPA se refieren a características de los tramos de vía tales como el TMDA, número de pistas, existencia de pistas especiales o mediana o iluminación, cantidad de accesos a la propiedad privada (residenciales, comerciales, etc.). Para intersecciones las variables están

asociadas al flujo en las vías prioritaria y secundaria, número de accesos a la intersección, tipo de regulación, existencia de pistas especiales e iluminación, entre otras.

Si se quiere aplicar los MPA a un determinado lugar, las variables explicativas mencionadas se refieren a características relativamente fáciles de obtener en terreno o estimar a partir de mediciones de tránsito.

La forma funcional genérica de los MPA del HSM es la siguiente:

$$ACC = ACC_{base} \times (FMA_1 \times FMA_2 \times FMA_3 \times \dots \times FMA_N) \times C$$

Donde

- ACC : es el número de accidentes estimado para un cierto lugar.
- ACC_{base} : es el número de accidentes estimado para la situación base del lugar analizado.
- FMA_i : son factores de modificación de accidentes asociados a una cierta contramedida física u operativa orientada a reducir los accidentes.
- C : es un factor de calibración ajustado a las condiciones específicas del lugar analizado.

La estimación de los accidentes para la situación base (ACC_{base}) se realiza mediante funciones distintas por tipo de lugar y tipo de accidente. La especificación depende de si se trata de un tramo de vía o intersección. Se distinguen caminos de 2 pistas bidireccionales, 4 pistas con y sin mediana, intersección en T sin señalización e intersección de cuatro ramas con y sin señalización, entre otras. Para los tipos de accidentes se distinguen los que involucran a más de un vehículo motorizado, un solo vehículo, y en algunos casos incluyen accidentes que involucran a peatones o ciclistas.

Entonces, al calcular ACC_{base} se suman los accidentes predichos con las especificaciones de funciones para accidentes multi-vehículo, uni-vehicular y, si corresponde, colisiones involucrando peatones y/o ciclistas. Luego, se puede generalizar con la siguiente función:

$$ACC_{base} = ACC_{mnb} + ACC_{unb}$$

Donde

- ACC_{mnb} : es el número promedio de accidentes predicho para accidentes multi-vehículo (más de un vehículo) en el caso base.
- ACC_{unb} : es el número promedio de accidentes predicho para accidentes que involucran un solo vehículo en el caso base.

La forma funcional de los MPA del HSM es la siguiente para el caso de un tramo de vía y accidente multi-vehículo:

$$ACC_{mvb} = \exp(a + b \times \ln(TMDA) + \ln(L))$$

Donde

- a, b : parámetros a estimar.
- $TMDA$: tránsito medio diario anual.
- L : Longitud del tramo de vía.

Se presenta el caso anterior a modo de ejemplo dentro de todas las especificaciones presentadas en el HSM. El caso de los ciclistas y peatones para el tramo de vía es simplemente una ponderación de los accidentes entre vehículos según factores definidos en el manual.

El caso de accidentes que involucran a uno o más vehículos en intersecciones, los MPA tienen una forma funcional similar a presentada más arriba, pero con 3 parámetros de regresión y la variable de TMDA definida para la vía principal y para la secundaria. El caso de peatones, el HSM considera un caso base ponderado por factores de modificación del número de accidentes, donde el caso base de intersecciones semaforizadas utiliza la misma especificación anterior, pero con 5 coeficientes de regresión y las variables de TMDA total en ambas vías, TMDA por las vías principal y secundaria, volumen diario de peatones y el número máximo de pistas que los peatones cruzan en la intersección. Para las intersecciones no semaforizadas se considera una ponderación de la cantidad de accidentes predicha para colisiones involucrando uno o más vehículos.

Los factores de modificación de accidentes se definen para distintos tipos de contramedidas y su valor ha sido estimado con estudios ad-hoc. El HSM incluye un amplio número de valores.

El factor de calibración se obtiene para cada lugar (tramo, intersección) como el cociente entre el número observado de accidentes y el número de accidentes predicho por el respectivo modelo (ACC_{base}). El factor puede resultar menor, igual o mayor que 1 y pasa a ser un ponderador fijo del MPA.

1.3 Estudios “Análisis y actualización de ortofotomosaico de Santiago” y “Vectorización imágenes de alta resolución, Etapas I y II”

Los términos de referencia solicitan la revisión del estudio “Análisis y Actualización de Ortofotomosaico de Santiago” posiblemente como un antecedente para establecer las características físicas de las vías de interés. En

esa línea, SECTRA desarrolló dos estudios similares en los últimos años. Los estudios han generado imágenes de distintas áreas urbanas del país que pueden ser utilizadas para establecer con una razonable precisión, por ejemplo, los anchos de calzada y medianas.

Las ciudades para las cuales se cuenta con imágenes georreferenciadas y ortorectificadas son las siguientes: Iquique-Alto Hospicio, Tocopilla, Antofagasta, Vallenar, La Serena-Coquimbo, La Calera, Los Andes, San Felipe, Gran Valparaíso, Gran Santiago, Melipilla, Buin, Graneros, Rengo, San Vicente, San Fernando, Santa Cruz, Curicó, Talca, Chillan, Gran Concepción, Los Ángeles, Temuco-Padre Las Casas, Valdivia, La Unión, Osorno, Puerto Montt y Punta Arenas.

La información generada en los respectivos estudios se encuentra en distintos formatos digitales (*.shp, *.dxf) y se utilizó como un complemento a los antecedentes de catastros físico-operativos recopilados.

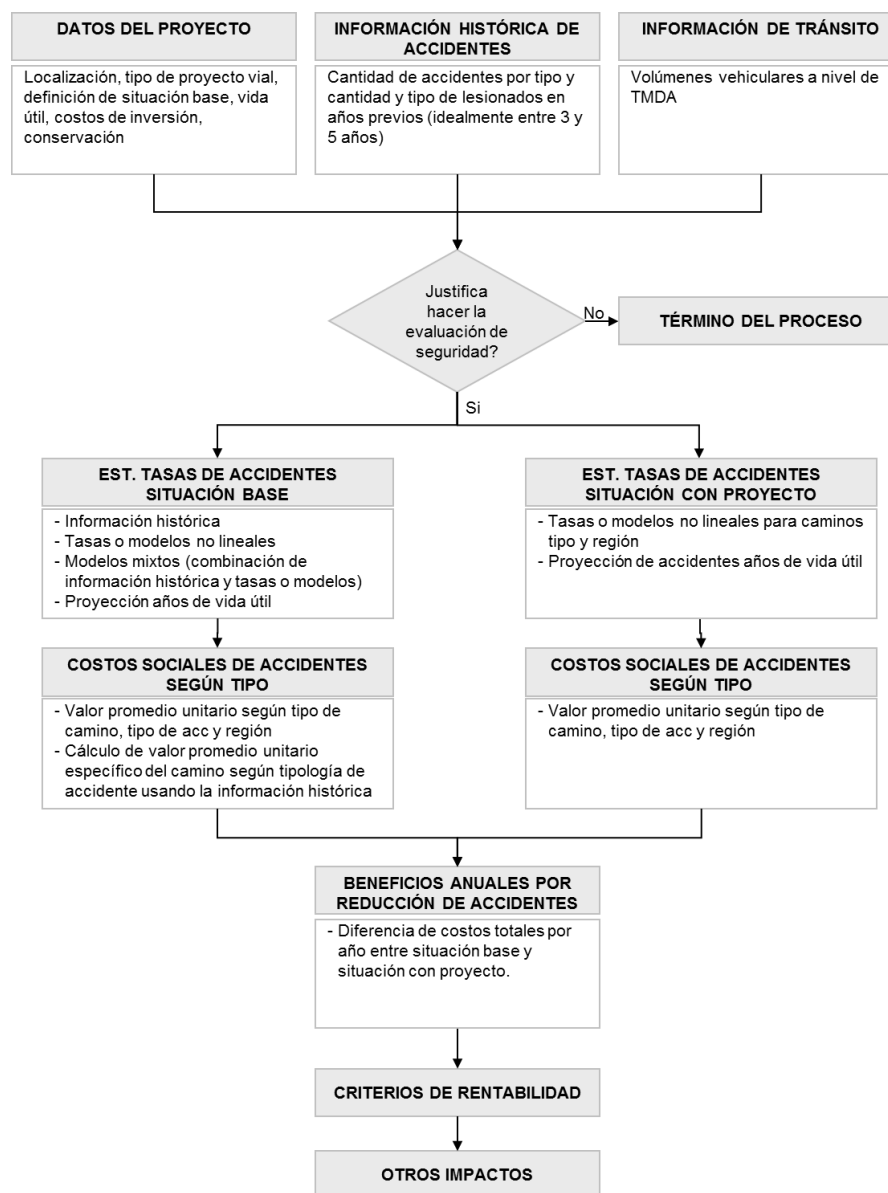
1.4 Manual “Metodología simplificada de estimación de beneficios sociales por disminución de accidentes en proyectos de vialidad interurbana”

La metodología simplificada para estimar beneficios asociados a la disminución de accidentabilidad en proyectos de vialidad interurbana representa el primer esfuerzo hecho en el país para incorporar valores económicos derivados de cambios en la seguridad vial en los indicadores de rentabilidad social de los proyectos viales.

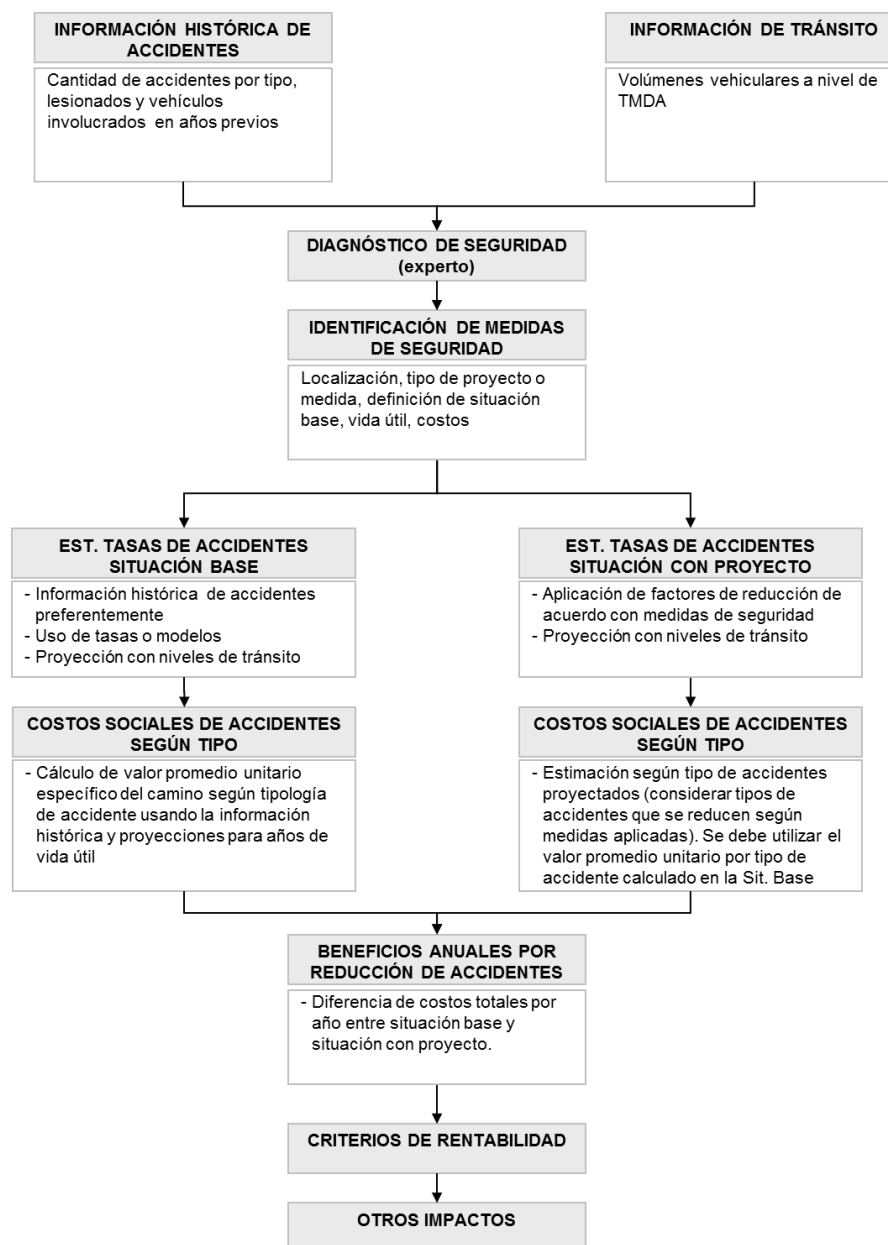
Las etapas consideradas en la metodología son las que se mencionan a continuación:

- 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 las 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.

Figura 1-1: Procedimiento para 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”. MIDEPLAN-SECTRA (2007)

Figura 1-2: Procedimiento para proyectos de 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”. MIDEPLAN-SECTRA (2007)

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 mejorar la seguridad en un camino determinado

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 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.

1.4.1 Clasificación de proyectos

La metodología simplificada distingue dos agrupaciones de proyectos factibles de ser analizados: proyectos de infraestructura vial con efectos en la seguridad vial y proyectos de seguridad vial.

a) Proyectos de infraestructura vial con efectos en la seguridad vial

Se definen en primer lugar los siguientes estándares:

- **Camino de tierra o pavimentado de estándar M:** 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 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). 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 pavimentado 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 pavimentado desde el estándar M al estándar S puede ser materia de evaluación económica por concepto de impactos en la seguridad y otros.

En función de lo anterior, la categorización de proyectos propuesta en la metodología simplificada interurbana 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 ha consideraron en la metodología.

b) Proyectos de seguridad vial

Los proyectos de seguridad vial 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 encuentra 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” 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).

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.

1.4.2 Clasificación de caminos

La metodología interurbana clasifica los caminos interurbanos en función del tipo de vía (número de pistas y su condición de camino o autopista) y su localización en relación a tres macrozonas del país, como se muestra en los cuadros siguientes.

Tabla 1-2: Desagregación de tipos de vía

Categoría tramo	Descripción
1 o 2 pistas no pavimentadas	Camino con 1 o 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”. MIDEPLAN-SECTRA (2007)

Tabla 1-3: Desagregación según localización geográfica

Zona	Descripción
Norte	Considera las regiones I a IV, ambas incluidas
Centro	Considera las regiones V y RM
Sur y extremo 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”. MIDEPLAN-SECTRA (2007)

Por otra parte, los accidentes se caracterizan según su tipo y consecuencias en las personas y vehículos, como se muestra en los cuadros siguientes.

Tabla 1-4: Desagregación del tipo de accidente

Tipo accidente	Descripción
Atropello	Accidente reportado con código 10 en el sistema SIEC-2 de Carabineros de Chile.
Colisión	Ídem., códigos 30 a 34
Choque	Ídem., códigos 40 a 53
Choque c/vehículo detenido	Ídem., códigos 61 a 69
Volcadura	Ídem., código 70
Otros	Ídem., 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”. MIDEPLAN-SECTRA (2007)

Tabla 1-5: Número de personas y vehículos involucrados

Variable	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
Vehículos	Número total de vehículos involucrados en el accidente

Fuente: Estudio “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”. MIDEPLAN-SECTRA (2007)

1.4.3 Modelos y tasas para estimación de accidentabilidad

La siguiente tabla muestra los MPA y tasas de accidentabilidad estimados en el estudio interurbano, que son los mismos de la metodología simplificada. En ambos casos se requiere estimar el número de vehículos-kilómetro de tramo de interés:

$$VK = TMDA \times 365 \times L$$

Donde:

- *VK*: es el tránsito del camino medido en veh-km al año.
- *TMDA*: es el tránsito medio diario anual del camino, medido en veh/día. Este valor puede ser obtenido a partir de mediciones en

terreno o de la información generada en forma periódica por el Plan Nacional de Censos de la Dirección de Vialidad.

- L : es la longitud del tramo medida en km.

Tabla 1-6: Modelos de predicción y tasas para estimar accidentes según tipo de camino

Tipo de camino	Rango de tránsito para uso del modelo desagregado [veh/día]	Modelo por macro región $Y = e^{\beta_0} V K^{\beta_{VK}}$	Tasa por macro región $Y = Tasa \cdot V K$ [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 y Extremo Sur Total 6,76 Atropello 1,24 Choque 0,93 Colisión 2,12 Volcadura 2,33 Otro 0,14
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 0,32 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 y Extremo Sur β_0 -13,59 β_{VK} 0,91	Sur y Extremo Sur Total 3,54 Atropello 0,75 Choque 0,53 Colisión 1,46 Volcadura 0,76 Otro 0,04
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

Tipo de camino	Rango de tránsito para uso del modelo desagregado [veh/día]	Modelo por macro región		Tasa por macro región	
		$Y = e^{\beta_0} VK^{\beta_{VK}}$		$Y = Tasa \cdot VK$ [acc / 10 MVK]	
Camino pavimentado de cuatro pistas	2.000 – 5.000	Norte		Norte	
		β_0	N/A	Total	1,82
		β_{VK}	N/A	Atropello	0,61
				Choque	0,61
				Colisión	0,00
				Volcadura	0,61
				Otro	0,00
		Centro		Centro	
		β_0	N/A	Total	2,80
		β_{VK}	N/A	Atropello	0,58
				Choque	0,40
				Colisión	1,58
				Volcadura	0,18
				Otro	0,07
		Sur y Extremo Sur		Sur y Extremo Sur	
		β_0	-15,17	Total	4,15
		β_{VK}	0,91	Atropello	0,92
				Choque	1,19
				Colisión	1,68
				Volcadura	0,30
				Otro	0,07
		Norte		Norte	
		β_0	N/A	Total	1,64
		β_{VK}	N/A	Atropello	0,11
				Choque	0,44
				Colisión	0,50
				Volcadura	0,55
				Otro	0,03
		Centro		Centro	
		β_0	-15,99	Total	2,01
		β_{VK}	1,04	Atropello	0,22
				Choque	0,51
				Colisión	0,83
				Volcadura	0,44
				Otro	0,02
		Sur y Extremo Sur		Sur y Extremo Sur	
		β_0	-12,55	Total	2,18
		β_{VK}	0,84	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”. MIDEPLAN-SECTRA (2007)

1.4.4 Estimación de accidentabilidad en proyectos de seguridad con efectos en la seguridad vial

a) Situación sin proyecto

La situación Sin Proyecto (SP) o situación actual optimizada, 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.

Debido a la poca predictibilidad del modelo –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) ($0,79A \leq Y \leq 1,21A$), se podrá utilizar el modelo respectivo.

El enfoque de estimación de accidentes utiliza un promedio ponderado del valor estimado por el modelo y la información histórica de que se disponga para el tramo o camino en evaluación. El valor del ponderador depende de un parámetro estadístico de sobre-dispersión (0,51) asociado al supuesto de una distribución binomial negativa de los accidentes. De esta manera, el número (N) anual de accidentes estimado para un tramo es

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

con

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

Donde

N : es la estimación de accidentes anuales promedio 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.

El ponderador α del valor estimado con el modelo (Y) está acotado entre 0 y 1 y su magnitud es función de la cantidad de accidentes que el modelo estima para el tramo en evaluación: resulta que mientras mayor sea Y más baja es su ponderación en comparación con los datos históricos (A) al calcular los accidentes del tramo (N).

b) Situación con proyecto

Con el fin de que la comparación entre situación sin proyecto (SP) y con proyecto (CP) sea consistente, se debe proyectar la información histórica, utilizando las tasas de accidentabilidad indicadas en la Tabla 1-6. 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.

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

donde

- $A_{c/p}^j$ es la proyección del número de accidentes históricos del tipo j (situación CP);
- $A_{s/p}^j$ es el número de accidentes históricos del tipo j (situación SP);
- $\text{tasa}_{c/p}^j$ es la tasa de accidentabilidad reportada para el tipo de accidente j , en el caso CP.
- $\text{tasa}_{s/p}^j$ es la tasa de accidentabilidad reportada 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.

1.4.5 Estimación de accidentabilidad en proyectos de seguridad vial

a) Individualización de los sectores a tratar

Es frecuente que los sectores a tratar se identifiquen a partir de demandas de la comunidad, así como en los análisis realizados la Dirección de Vialidad del MOP. 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. La información de accidentes tiene dos fuentes: el sistema SIEC-2 de Carabineros de Chile y los registros de accidentes en vías concesionadas. La metodología establece que sectores con más de 3 accidentes al año deberían ser tratados.

Cuando la información de accidentes es deficiente, por ejemplo, en la identificación del lugar en que ocurrió el accidente, se debe realizar una Auditoría de Seguridad Vial que demuestre la existencia del riesgo.

b) Determinación de la tasa anual de accidentes SP

Con los datos de accidentes recopilados por Carabineros o las empresas concesionarias, se deben obtener 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:

- 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.

Con esta información se estima el total anual corregido de accidentes ($TACT$), como sigue:

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

Donde

- $TAHT$ son los accidentes anuales históricos totales, correspondiente a la sumatoria de accidentes con fallecidos históricos y los accidentes con lesionados históricos.
- Y son los accidentes anuales predichos con el modelo predictivo.

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.

c) Estimación de la reducción anual de accidentes en la situación CP

Los beneficios sociales corresponden directamente a los ahorros producidos por la disminución de accidentes, ya sea por una disminución en cantidad y/o sus consecuencias. Se requiere entonces establecer la reducción que se espera que generen las medidas específicas de seguridad consideradas en el proyecto. La experiencia internacional muestra que ese proceso se realiza mediante tasas de reducción de la accidentabilidad estimadas a través de estudios expost, como las mencionadas en la sección 1.2. Dado que en el país no se han desarrollado ese tipo de estudios, es necesario utilizar los valores reportados en la literatura especializada hasta que se disponga de información local.

La variación de los accidentes anuales puede ser determinada por la siguiente relación.

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

donde:

$TACP_{ij}$: accidentes anuales del tipo i con consecuencias j en la situación con proyecto.

i: atropellos, choques, colisiones, volcaduras o caídas.

j: con fallecidos o sólo lesionados.

TAH_{ij} : accidentes anuales históricos tipo i y consecuencia j.

FR_{ij} : factor de reducción de la contramedida propuesta para accidentes de tipo i y consecuencia j (en tanto por uno).

Los factores de reducción aparecen en el documento con la metodología simplificada.

1.4.6 Costos sociales por accidentes

Los costos sociales de accidentes de tránsito en carreteras 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 la 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. Esta componente del costo social no fue considerada en el estudio que desarrolló la metodología interurbana.

Tabla 1-7: Costo social promedio por daños a vehículos en el ámbito interurbano

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: Metodología simplificada de estimación de beneficios sociales por disminución de accidentes en proyectos de vialidad interurbana

Tabla 1-8: Costo social promedio asociados a lesionados

Nivel de gravedad	Tratamiento lesionados	Gastos administrativos	Capital humano	Total
Leve	3,91	23,95		27,86
Menos 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: Metodología simplificada de estimación de beneficios sociales por disminución de accidentes en proyectos de vialidad interurbana

Tabla 1-9: Costo social promedio por daños a vehículos en el ámbito interurbano

Daño vehículos livianos	Daño vehículos pesados	Gastos administrativos
13,43	12,36	23,58

Fuente: Metodología simplificada de estimación de beneficios sociales por disminución de accidentes en proyectos de vialidad interurbana

De esta manera, el costo del accidente promedio está dado por:

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

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 el 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.

Para el caso de accidentes sin lesionados, el costo promedio se calcula como:

$$CSASL = CostoADM + Ta \times CDa + Tvp \times CDvp$$

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);

1.4.7 Estimación de beneficios

a) Proyectos de infraestructura vial con efectos en la 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.

b) 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.

1.4.8 Costos de inversión

Para los proyectos de infraestructura vial, 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 el Ministerio de Desarrollo Social (MDS), 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.

El Sistema Nacional de Inversiones actualiza e informa anualmente los diferentes precios sociales.

1.4.9 Otras consideraciones

De acuerdo con lo indicado por el MDS la metodología interurbana descrita tiene algunas limitaciones. Producto de estas limitaciones hay algunos impactos de la reducción de accidentes que no están cuantificados, lo cual no impide 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 casos fueron incorporados en la evaluación, con una estimación de la pérdida de productividad (costo de capital humano), la experiencia internacional indica que esa pérdida 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. En general se reconoce que, detrás de los valores económicos de estos efectos sociales que generan los accidentes, hay juicios éticos o de valor, en el sentido de que el valor de la vida humana estará

vinculado a la disposición a pagar de la sociedad por evitar una muerte o lesiones.

Por otra parte, la base de datos de accidentes provista por Carabineros de Chile, considera solamente accidentes con lesionados, por lo cual, un número importante de accidentes no están incluidos en el análisis. Resolver esta situación con el personal de Carabineros de Chile parece difícil dada la sobrecarga de funciones que cumplen los funcionarios. Probablemente requiera personal especializado en esa labor. Otro enfoque puede ser estimar los accidentes sin lesionados a partir de los accidentes con lesionados.

Por último, es relevante tener en cuenta que el MDS inició un proceso de validación del nuevo valor estadístico de la vida, que es 4 veces más alto que el utilizado actualmente. Si se valida esta cifra, la importancia de la reducción de la accidentabilidad se incrementará notablemente.

1.5 Artículos científicos y otros documentos de interés

Como parte de la revisión de antecedentes, se realizó una búsqueda de artículos y otros documentos de interés en revistas científicas y sitios web de instituciones especializadas en temas de seguridad vial. La búsqueda se concentró, en esta etapa del estudio, en el desarrollo y uso de los MPA.

A continuación se describen resumidamente los antecedentes recopilados.

1.5.1 Artículos científicos

A través de internet se revisaron una serie de artículos científicos, los que resultaron más útiles para los objetivos del presente estudio fueron los siguientes:

REF-1: A comprehensive Methodology for the fitting of predictive accident models. M. J. Maher & I. Summersgill. Accident, Analysis and Prevention 28(39) pp. 281-296, 1996.

En esta referencia se muestra la metodología aplicada por el Transport Research Laboratory (TRL) del Reino Unido para establecer relaciones entre accidentes de tránsito, flujos y geometría de las vías o intersecciones. Se tratan aspectos relacionados con la construcción de MPA tales como la sobredispersión de los datos, tendencias en el tiempo del riesgo de accidentes y el uso de datos observados y estimaciones del número de accidentes para generar mejores estimaciones (método bayesiano empírico).

REF-2: A method for relating type of crash to traffic flow characteristics on urban freeways. T. F. Golob & W. W. Recker. Transport Research Part A 38 pp. 53-80, 2003.

En esta referencia se describe el desarrollo de una metodología para determinar cómo las características de un accidente de tránsito están relacionadas a las condiciones de circulación al momento en que ocurrió el accidente. El trabajo analiza autopistas urbanas de al menos 3 pistas por sentido.

REF-3: Accidents at urban priority crossroads and staggered junctions. R. E. Layfield, I Summersgill, R. D. Hall & K. Chatterjee. Transport Research Laboratory, Report 185, 1996.

Este trabajo tuvo como objetivo investigar la relación entre la frecuencia y características de los accidentes y los respectivos flujos, características de las vías, geometría, usos de suelo, etc. Se desarrollaron MPA para el total de accidentes y para accidentes por tipo.

REF-4: Accident Prediction Models for Roads with Minor Junctions. L. Mountain, B. Fawaz & D. Jarrett. Accident Analysis and Prevention 28(6) pp. 695-707, 1996.

El propósito de este trabajo fue desarrollar y validar un método para predecir el número esperado de accidentes en carreteras con intersecciones secundarias para las cuales no se tiene información de flujos. Se analizaron 3800 km de carreteras en el Reino Unido que incluyen 5000 intersecciones secundarias. Los MPA generados relacionan los accidentes con la frecuencia de intersecciones secundarias. La predicción de accidentes se realiza con el método bayesiano empírico.

REF-5: Accident prediction models for urban roads. P. Greibe. Accident Analysis and Prevention 35 pp. 273-285, 2003.

Esta referencia muestra los resultados de dos estudios realizados en Dinamarca orientados a establecer MPA sencillos para predecir accidentes en intersecciones y tramos de vía. Los resultados presentados muestran que los MPA de tramos de vía logran explicar un porcentaje más alto de la variabilidad sistemática de los datos en comparación con los de MPA intersecciones. Además, se concluye que los descriptores físicos de las vías son variables explicativas relevantes en el caso de tramos de vía, pero son menos importantes en los MPA de intersecciones. Entre las variables explicativas la más importante es el flujo vehicular.

REF-6: Goodness-of-fit testing for accident models with low means. Z. Ye, Y. Zhang & D. Lord. Accident Analysis and Prevention 61 pp. 78-86, 2013.

En esta referencia se analizaron distintos test estadísticos tradicionalmente aplicados a los MPA. En función de esos resultados se propuso un nuevo test que es independiente del tamaño de la muestra para modelos de Poisson. Se propusieron además recomendaciones acerca del uso apropiado de test estadísticos en modelos de regresión Poisson y negativo binomial.

REF-7: Intersection accident estimation: the role of intersection location and non-collision flows. S. Turner & A. Nicholson. Accident Analysis and Prevention 30(4) pp. 505-517, 1998.

En este trabajo se revisaron distintos MPA que relacionan los accidentes y los flujos, con énfasis en la forma funcional y métodos estadísticos utilizados para la estimación de parámetros. Los autores encontraron que la localización determina las características de ciertos accidentes y concluyen que se obtienen mejores resultados al estimar MPA para accidentes diferenciados por tipo en comparación con los MPA que estiman los accidentes totales, además, que es importante considerar las interacciones entre flujos vehiculares que viran.

REF-8: State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks. R. Elvik. The Institute of Transport Economics Report 883, 2007.

En esta referencia se presenta una síntesis del proceso de generación de MPA. Discute sobre una serie de aspectos relacionados con la información de accidentes, supuestos y buenas prácticas de modelación. Por su completitud y utilidad para el presente estudio, este documento se describe con más detalle en la siguiente sección.

REF-9: The influence of the infrastructure characteristics in urban road accidents occurrence. S. V. Gomes. Accident Analysis and Prevention 60 pp. 289-297.

En este trabajo se describe el desarrollo de MPA para la ciudad de Lisboa. En ellos se utiliza la distribución binomial negativa.

REF-10: Economic evaluation manual. Transport Agency New Zealand, 2013.

Esta referencia describe diferentes metodologías de evaluación de proyectos, que incluyen el análisis de los efectos sobre la accidentabilidad de tránsito. Se reportan MPA para intersecciones y tramos de vías urbanas y distintos tipos de vías rurales, puentes y cruces ferroviarios.

REF-11: Highway Safety Manual. American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO.

Su descripción se presentó en la sección 1.2.

REF-12: Poisson, Poisson-gamma and zero-inflated regression models of motor vehicle crashes: balancing statistical fit and theory. Lorda D., Washington S., John I. Accident Analysis and Prevention 37, 35–46, 2005

En esta referencia se discute sobre el uso de distintas distribuciones del término de error en los MPA. En ese sentido, se presenta la distribución con exceso de ceros (*zero inflated*) que ha sido propuesta por algunos investigadores como una alternativa a la función binomial negativa. El uso de la función con exceso de ceros tiene implícito el supuesto de que existen de dos estados para la vía o intersección analizada: un estado seguro en el cual no se producen accidentes y un estado donde sí ocurren. Este supuesto ha criticado por distintos especialistas, que sostienen que esa situación no ocurre en la práctica. Esto ha hecho que en general no se recomiende su uso a pesar de que genera MPA con un mejor ajuste estadístico. En la referencia no se incluye el desarrollo de MPA sino que sólo análisis basados en simulaciones.

REF-13: Fotorradares y seguridad vial: un análisis empírico bayesiano. Luis Ignacio Rizzi. Actas del Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte pp. 531-543, 2003

En esta referencia se analiza el efecto en la accidentabilidad del uso de fotorradares para el control de la velocidad máxima en Chile. El análisis se realiza con la técnica bayesiana empírica.

El trabajo no se basó en la estimación de MPA sino que en el análisis estadístico de la información de accidentes antes y después de la instalación de los fotorradares en distintos lugares.

Los resultados indican que durante el período de uso (1997-2000) de los fotorradares disminuyó el número de accidentes. El autor señala que a falta de un grupo de control, no se puede afirmar que exista causalidad entre el uso del fotorradar y la disminución del número de víctimas fatales y graves, simplemente existe contemporaneidad entre ambas situaciones.

En las siguientes tablas se muestran distintas características de los MPA reportados en las referencias recién descritas.

Tabla 1-10: Resumen de variables explicadas y explicativas en MPA: caso tramos de vía

Variables y descripción		Referencia								
		1	2	4	5	6	8	9	10	11
Variables explicadas	Número de accidentes			Sí		Sí			Sí	
	Número de accidentes en tramos de vía	Sí		Sí	Sí		Sí	Sí	Sí	Sí
	Número de accidentes según gravedad de lesiones		Sí					Sí		
	Número de accidentes según tipo de usuario	Sí								Sí
	Número de accidentes por tipo de colisión o cantidad de vehículos involucrados		Sí							Sí
Variables explicativas	Variables operativas	Flujo total			Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
		Flujos por tipo de usuario		Sí						
		Flujos por pista		Sí						
		Flujo en arco		Sí			Sí			
		Flujo peatonal		Sí					Sí	
		Otra desagregación/agregación de flujo		Sí						
		Condición climática al momento del accidente		Sí						
	Variables de infraestructura	Longitud del arco/segmento		Sí		Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
		Número de intersecciones en el segmento de vía		Sí						
		Ancho de pista/tramo			Sí		Sí			
		Número de pistas					Sí	Sí		Sí
		Condición de luminosidad o visibilidad al momento del accidente		Sí						Sí

Variables y descripción			Referencia								
			1	2	4	5	6	8	9	10	11
Variables explicativas	Variables de infraestructura	Número de accesos, salidas, caminos secundarios o cantidad de intersecciones en el segmento de vía				Sí		Sí			Sí
		Presencia de mediana									Sí
		Presencia de pistas de viraje									Sí
		Presencia de objetos fijos al costado de la vía									Sí
	Variables de regulación de la circulación	Velocidad límite				Sí		Sí			
		Uso de suelo aledaño				Sí					
		Regulaciones de estacionamiento, ocupación y actividad				Sí					Sí
		Tipo o clasificación de vía urbana						Sí			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 1-1 Resumen de variables explicadas y explicativas en MPA: caso intersecciones

Variables y descripción		1	3	4	5	Referencia		6	7	9	10	11
Variables explicadas	Número de accidentes		Sí	Sí				Sí			Sí	
	Número de accidentes en intersección	Sí	Sí	Sí	Sí				Sí	Sí	Sí	Sí
	Número de accidentes según nivel de lesiones									Sí		
	Número de accidentes por tipo de usuario	Sí	Sí									Sí
	Número de accidentes por tipo de movimiento vehicular	Sí	Sí						Sí			
	Número de accidentes por tipo de colisión o cantidad de vehículos involucrados		Sí									Sí
Variables explicativas	Variables de operación	Flujo total	Sí	Sí					Sí	Sí		
		Flujos en vías prioritaria y secundaria	Sí	Sí		Sí	Sí	Sí			Sí	Sí
		Flujos de vehículos según tipo de movimiento	Sí	Sí					Sí		Sí	
		Flujos por tipo de usuario		Sí						Sí	Sí	
		Flujos por pista		Sí							Sí	
		Flujo en arco		Sí	Sí							
		Flujo peatonal	Sí	Sí						Sí		
		Proporción de vehículos de 2 ruedas.	Sí									
		Vehículos por unidad de tiempo de verde	Sí									
		Tiempo de entreverde	Sí									
		Presencia de fase de viraje a la izquierda (si está señalizado)										Sí
		Velocidad de vehículo/de flujo libre/de diseño		Sí							Sí	

Variables y descripción			1	3	4	5	Referencia		6	7	9	10	11	
Variables explicativas	Variables de operación	Longitud de cola		Sí										
		Número de ramas con tráfico en una sola dirección									Sí			
		Presencia/número de pistas de viraje									Sí		Sí	
	Variables de Infraestructura	Ancho de pista/tramo		Sí							Sí			
		Número de pistas/ramas		Sí		Sí							Sí	
		Presencia de cruce peatonal		Sí										
		Ángulo de viraje	Sí	Sí										
		Desplazamiento de la línea central con respecto a su continuación en la intersección.	Sí											
		Presencia de isla central.	Sí	Sí										
		Condición de luminosidad o visibilidad al momento del accidente		Sí								Sí	Sí	
		Presencia de paraderos		Sí										
		Balance de pista									Sí			
		Variables de regulación de la circulación	Señalizaciones o regulación del cruce	Sí	Sí									Sí
			Demarcaciones		Sí									
	Uso de suelo aledaño			Sí										
	Regulaciones de estacionamiento, ocupación y actividad			Sí										
	Presencia de cámaras de semáforo en rojo												Sí	

Variables y descripción		1	3	4	5	Referencia		6	7	9	10	11
Otras Variables	Velocidad límite		Sí									
	Sexo y edad conductores		Sí									
	Early cut-off or late release.	Sí										
	Si la intersección estaba en la capital o no		Sí									

Fuente: Elaboración propia

1.5.2 Otros documentos de interés

Se revisaron además otros documentos de interés. Dentro de ese grupo, el de mayor interés fue **“State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis”** (Elvik R., 2007¹), que presenta una síntesis del proceso de generación de MPA, incluyendo aspectos relacionados con la información de accidentes, supuestos y buenas prácticas de modelación, etc. En particular, trata los siguientes temas:

- Especificación del modelo: se analiza en general la elección de variables dependientes e independientes, especificación de forma funcional del MPA y del término de error y el tratamiento del tiempo. En relación con la variable dependiente menciona que el número de accidentes es la más común y que no es recomendable el uso de tasa de accidentes por unidad de veh-km pues se ha reconocido que la relación entre accidentes y flujos es no lineal.
- Selección de variables explicativas: se plantea la necesidad de distinguir entre variables que describen la exposición al riesgo y aquellas que representan factores de riesgo que influyen la ocurrencia de accidentes por unidad de exposición al riesgo.
- Análisis de modelos de múltiples niveles: los MPA generalmente asumen que los accidentes de tránsito ocurren a una tasa constante durante un cierto período. Esa tasa puede variar de un lugar a otro o entre distintos períodos. Este tipo de modelo se denominan de “estado simple”. Como alternativa se han propuesto modelos de dos estados: estado normal donde los accidentes ocurren a una tasa constante en el tiempo y un estado seguro en el cual no suceden accidentes. La distribución resultante es una mezcla de una distribución Poisson y una distribución que solamente genera ceros. Este tipo de distribución contiene un número excesivo de ceros en comparación con la distribución Poisson y se ha denominado *zero-inflated*.
- Especificación de relaciones funcionales: se discute el uso de formas funcionales flexibles para permitir que la relación entre accidentes y las variables explicativas tenga quiebres en las tendencias y mínimo o máximos locales. El uso de transformadas box-cox es una opción en ese sentido.
- Especificación de residuos: los MPA solamente pueden explicar una parte de la variabilidad sistemática presente en los datos de accidentabilidad. El resto de variabilidad sistemática, junto con la variabilidad aleatoria, quedan explicadas por el residuo del MPA. Si bien existen varias opciones para especificar ese término de error, la más utilizada es la binomial negativa.

¹ Elvik R. (2007) State of the art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road network. The Institute of Transport Economics Report 883/2007, Norway.

- Evaluación del ajuste estadístico del modelo: se indica que la variación sistemática (sobredispersión) del número de accidentes está presente cuando la varianza excede al promedio. En un MPA binomial negativo se calibra un parámetro (μ) que permite establecer la relación entre la varianza y el promedio (λ): $\mu = (\frac{var(x)}{\lambda} - 1)/\lambda$. Por lo mismo, se plantea que es útil comparar el parámetro de sobredispersión estimado con el que se deduce de los datos observados, junto con los porcentajes de variabilidad explicada por el MPA: a mayor porcentaje mejor es el modelo en cuanto a su capacidad explicativa de la accidentabilidad.
- Tratamiento del tiempo: se plantea que existen diversas formas de considerar la evolución en el tiempo de los accidentes y las variables explicativas. Por ejemplo, es posible generar modelos para períodos de varios años, pero deben considerar explícitamente los cambios que ocurrieron en dicho período. También es posible considerar modelos independientes en el tiempo, por ejemplo, por año.
- Control de endogeneidad: la endogeneidad se refiere a la tendencia de la variable independiente de un modelo a influenciar una o más variables explicativas. Por ejemplo, las pistas de viraje a la izquierda se habilitan en lugares con flujos altos de virajes a la izquierda y, por lo tanto, con mayor número de accidentes que involucran esa maniobra. Si no se reconoce esa endogeneidad se puede concluir que la existencia de pistas de viraje incrementa el número de accidentes en comparación con el caso en que no existen esas pistas.
- Evaluación de la capacidad predictiva del modelo: se plantea que la capacidad predictiva de los MPA puede verificarse aplicando el modelo para años futuros y luego contrastando esos resultados con lo observado. Otra opción es utilizar una parte de los datos observados para calibrar el modelo y dejar otra para probar la capacidad predictiva.
- Aplicación del método Bayesiano Empírico para análisis de seguridad vial: los MPA no incluyen todas las variables que generan la variación sistemática de los accidentes. Por esta razón los MPA generan valores promedio de accidentes que tiene una determinada combinación de variables explicativas. El número de accidentes de un lugar específico normalmente será distinto de ese promedio. Por esta razón, la recomendación es utilizar como estimación del número de accidentes una combinación de un MPA y la información histórica de accidentabilidad del lugar de interés. El peso de cada información está dado por una función del parámetro de sobredispersión, ver sección 1.4.4.

El documento recién descrito fue de gran utilidad para el presente estudio ya que combina razonablemente la rigurosidad teórica que se requiere al estudiar un fenómeno complejo como la accidentabilidad y la necesidad de generar MPA

simples y con capacidad predictiva, pero que no requieran una excesiva cantidad de esfuerzo (datos) para ser aplicados.

1.6 Opiniones de expertos extranjeros

A través de la contraparte técnica del estudio se realizó una consulta sobre MPA en un foro de expertos extranjeros en seguridad vial. La pregunta ingresada al foro fue la siguiente:

Dear Colleagues,

We would be grateful if you could help us with information.

The traffic safety authority of Chile is involved in the development of a methodology to predict traffic accidents in urban areas. In this context, we are interested in learning experiences in the development of econometric models that estimate expected average crash frequency in road segments or junctions as a function of traffic volume and roadway characteristics (eg, number of lanes, median type, intersection control number of approach legs). We are interested to know the state of the practice in the prediction of urban accidents.

Many thanks for your assistance in this matter.

Kind regards,

Danica Mimica

Se recibieron 4 respuestas que, en términos generales, mencionan los siguientes antecedentes:

- **Stig R. Hemdorff**, Road Directorate, Dinamarca: señala que en Dinamarca no tienen MPA para áreas urbanas. Indica que se han realizado esfuerzos por generar esos modelos, pero no lo han logrado debido a que no disponen de información de flujos en vías que están bajo tuición municipal. Sí tienen modelos para las carreteras principales (main roads) que en una parte pequeña de los casos incluyen tramos urbanos. El MPA genérico para secciones de vía, categorizadas en diferentes tipos, es: $ACC = \alpha TMDA^\beta$, donde ACC es el número de accidentes por año, $TMDA$ es el tránsito promedio diario anual y α y β son parámetros a estimar. Señala finalmente que el problema principal de la construcción de MPA que él observa no es metodológico sino que de falta de información adecuada.
- **Chris Jurewicz**, Senior Research Engineer Safe Systems, ARRB Group Australia: menciona que la ARRB se ha concentrado en el desarrollo de MPA para vías interurbanas. Sin embargo, para vías urbanas han utilizado el enfoque del Highway Safety Manual de EE.UU (ver 1.2).

para generar MPA sencillos. Señala que Nueva Zelanda está aplicando el mismo enfoque.

- **Davide Shingo**, Centro di Ricerca per il Trasporto e la Logistica "Sapienza" Università di Roma, Italia: Ratifica que el estado de la práctica en relación con la construcción de MPA es el enfoque del HSM de EE.UU.
- **Paul Boase**, Chief Road Users, Transport Canada: En su respuesta señala que en varias provincias y municipios de Canadá se utiliza información de flujos vehiculares para estimar el número de accidentes. Para ello se generan periódicamente estadísticas de accidentes y tráfico con las que se calculan tasas acc/veh-km. Entrega además una serie de enlaces a documentos que tratan sobre la estimación de modelos predictivos de accidentes.

Adicionalmente, mediante correo-e se tomó contacto con los profesores Ezra Hauer y Rune Elvik, reconocidos expertos en el análisis de accidentes. A ellos se les consultó por la manera de considerar vías o intersecciones con o sin accidentes en la estimación de los MPA. La propuesta del consultor fue generar una base de calibración con información de tramos de vías e intersecciones con o sin accidentes. Las respuestas de estos especialistas validaron ese enfoque. En particular, el profesor Elvik señaló que considerar solamente aquellos lugares donde se tiene registro de accidentes conduce a una estimación de los parámetros de los MPA con un sesgo significativo.

1.7 Resumen de aportes identificados

A partir de la revisión de los documentos señalados y los aportes de expertos extranjeros, se establecieron las siguientes conclusiones:

- Los MPA en el caso urbano están asociados a tramos de vía o intersecciones.
- La variable dependiente de los MPA generalmente corresponde al número de accidentes por año. En la actualidad, la tasa de accidentes por unidad de distancia recorrida (acc/veh-km, por ejemplo) no se utiliza debido a que se ha reconocido que existe una relación no lineal entre el(los) flujo(s) y los accidentes. Es frecuente que se propongan desagregaciones de los accidentes, por ejemplo, según nivel de gravedad. Esto permite lidiar con la correlación de las observaciones y además estimar de manera más certera los beneficios por reducción de accidentabilidad dado que los costos varían significativamente según las consecuencias en las personas.
- Las variables explicativas más frecuentes en los MPA se pueden clasificar en dos categorías: variables que describen la exposición al riesgo de accidentes y factores de riesgo que influyen el número

esperado de accidentes por unidad de exposición. Las variables explicativas deberían ser las que:

- Tengan más influencia sobre el número de accidentes según estudios previos.
- Puedan ser medidas de forma confiable.
- No sean endógenas, es decir, dependientes de otras variables explicativas del modelo.

Algunas variables explicativas son las siguientes: un indicador de exposición, típicamente una estimación del flujo o la distancia recorrida por los vehículos; variables descriptivas de la función de transporte de las vías (autopista, colectoras, calles de acceso); variables descriptivas de la sección transversal de las vías (número de pistas, ancho de pista, presencia de mediana, ancho de mediana), y variables descriptivas del sistema de control de tráfico (límite de velocidad, tipo de regulación de la intersección).

- La formulación típica de los MPA es la siguiente,

Para el caso de tramos de vía (por unidad de longitud del tramo):

$$ACC = \alpha q^\beta e^{\sum_i \gamma_i x_i}$$

y para intersecciones:

$$ACC = \alpha q_p^\kappa q_s^\eta e^{\sum_i \gamma_i x_i}$$

Donde

AAC : es el número esperado de accidentes según alguna desagregación por unidad de tiempo, por ejemplo, cantidad de accidentes con fallecidos por año asociada a un tramo de vía o intersección.

q : una medida del flujo vehicular representativo del respectivo tramo de vía, por ejemplo, el TMDA.

q_p, q_s : son medidas de los flujos vehiculares que tienen conflicto en la intersección: flujos prioritario y secundario, respectivamente. Corresponden generalmente al TMDA de las vías que acceden a la intersección.

x_i : son otras variables físico-operativas o factores de riesgo de los tramos de vía o intersecciones.

$\alpha, \beta, \kappa, \eta, \gamma_i$: son parámetros a estimar, en particular, el exponente de los flujos representa la elasticidad del número de accidentes con respecto al flujo vehicular.

- Es necesario reconocer que un accidente de tránsito representa un evento de 3 niveles o dimensiones: accidente, vehículos y personas. El primer nivel se refiere, por ejemplo, al tipo de accidente (colisión frontal o lateral, choque, volcamiento), el segundo a la cantidad y tipo de vehículos involucrados y el tercero a las personas afectadas por el accidente. Los distintos niveles de variabilidad que se producen en cada uno de estos niveles implican que la estimación de los MPA debería considerar la naturaleza jerárquica de los datos y, por ejemplo, la correlación en la gravedad de las consecuencias del accidente entre los involucrados ya que en un accidente fatal se espera que otros involucrados fallezcan o tengan heridas muy graves; no obstante hay pocas experiencias en este sentido.
- Para abordar simplícidamente la existencia de la jerarquía y correlación en los datos, se recomienda generar MPA diferenciados según el nivel de gravedad de los accidentes. Luego, la variable dependiente puede ser el número de accidentes con o sin fallecidos por año.
- Si bien algunos autores han propuesto el uso de modelos basados en distribuciones del término de error con exceso de ceros (*zero inflated models*) en la estimación de MPA, existe mayor consenso entre los especialistas en que la función de distribución más adecuada es una distribución binomial negativa. Esta distribución es consistente con la sobredispersión que habitualmente tienen los datos de accidentabilidad.

2 IDENTIFICACIÓN DEL UNIVERSO DE VARIABLES PARA ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR VARIACIÓN DE ACCIDENTES

Como parte de esta tarea se identificó el universo de variables que fueron utilizadas para modelar la ocurrencia de accidentes. La ocurrencia de accidentes tienen relación con una serie de factores y la experiencia extranjera muestra que esa situación se debe analizar considerando las características de los accidentes y las condiciones de circulación, tanto físicas como operativas. Se propuso entonces una clasificación de accidentes y una clasificación geométrica y operativa de vías, así como la inclusión de otros aspectos que se estima que pueden contribuir a explicar la ocurrencia de accidentes y permitan evaluar los impactos que generan los proyectos de inversión y gestión de vías urbanas; que es el objetivo final de este estudio.

Los resultados de la etapa de modelación de los accidentes (ver sección 7.3) permitieron definir cuáles variables fueron finalmente consideradas en la metodología de evaluación de impactos en la seguridad de tránsito.

La identificación del universo de variables se realizó buscando seleccionar un número reducido de variables para las cuales esté disponible información confiable y/o que sea de fácil acceso, de manera que la metodología desarrollada pueda aplicarse sin grandes requerimientos de información en las distintas áreas urbanas del país, incluyendo grandes áreas metropolitanas, ciudades intermedias y pequeñas. En este sentido, la experiencia extranjera muestra que la tendencia es utilizar modelos agregados con pocas variables explicativas, debido al limitado conocimiento sobre el fenómeno de la accidentabilidad y a que es frecuente que exista correlación entre las variables que se supone afectan la accidentabilidad.

Se consideró entonces el siguiente universo de variables descriptoras de los accidentes y la vialidad.

- Accidentes
 - Tipo de siniestro: atropello, caída, colisión, choque, volcadura.
 - Nivel de gravedad: accidentes con fallecidos, accidentes solamente con heridos (la base SIEC-2 no es válida para estudiar los accidentes que tienen solamente daños materiales).
 - Tipo de vialidad: segmento o tramo de vía, intersección (cruz, T, Y, otro).

- Segmentos de vía
 - Sentido de tránsito.
 - Presencia de mediana.
 - Longitud del segmento.
 - Flujo vehicular (TMDA).
 - Número de pistas por sentido y totales.
 - Entorno (céntrico, periférico).
- Intersecciones
 - Número de accesos a la intersección.
 - Tipo de regulación.
 - Número de pistas por acceso.
 - Existencia de pistas viraje.
 - Existencia de mediana.
 - Existencia de isla central.
 - Flujo vehicular (TMDA) prioritario y secundario.
 - Entorno (céntrico, periférico).

La ocurrencia de accidentes de tránsito tiene relación con las características físicas y condiciones operacionales de las vías o intersecciones, además de otras condiciones, en el momento en que ocurrió el incidente. No es posible generar toda esa información con los medios disponibles en el país y, por lo mismo, es fundamental generar datos que se aproximen tanto como sea posible a esa condición de simultaneidad, siempre buscando generar una relación entre la ocurrencia de accidentes y las condiciones físicas y operativas de la vialidad.

Para lograr lo anterior, a partir de la información reportada en estudios de transporte desarrollados por SECTRA se identificaron segmentos de vía o intersecciones en diferentes ciudades del país que contaban con información físico-operativa y posteriormente se asignaron a esos lugares los accidentes que ocurrieron en esos segmentos o intersecciones en el año en que se tomaron los datos físicos y operativos.

Este procedimiento sirvió para lograr información de calidad para la estimación de tasas de accidentabilidad y MPA. En la siguiente tarea se entregan más detalles sobre este punto.

3 RECOPIACIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

3.1 Introducción

La validez estadística de las tasas de ocurrencia y modelos de predicción de accidentes y su confiabilidad predictiva dependen de los datos utilizados para su estimación. Por lo mismo, en este estudio se busca lograr la mejor información posible mediante el uso de datos observados de las características físicas y operativas de las vías y los accidentes de esas vías, con mayor proximidad temporal a la fecha de observación.

En particular, el enfoque utilizado contempla la utilización de dos fuentes de información principales: los catastros físico/operativos y flujos vehiculares disponibles en distintos estudios de Sectra (estudios tácticos, STU, gestión de tránsito) en las ciudades a analizar y los datos de accidentes provenientes de la base de datos SIEC-2 levantada y mantenida por Carabineros de Chile y procesada por Conaset. De esta manera la mencionada información tendrá el nivel de confiabilidad que se puede lograr en esos catastros y mediciones, que es mayor que el que se tiene al utilizar información estimada o establecida indirectamente (fotos aéreas, por ejemplo) y cumplirá tanto como es posible la condición de simultaneidad.

Se escogió hacer el análisis sobre el periodo 2008 – 2012 y construir el universo de datos con los antecedentes de las siguientes ciudades: Antofagasta, Valparaíso, Santiago, Temuco y Punta Arenas.

Se solicitó a las instituciones correspondientes información en tres dimensiones:

- Información de accidentes de tránsito. Se solicitó a Conaset, a través de la contraparte técnica del estudio, la información contenido en la base de datos SIEC-2 relativa a los accidentes ocurridos en las ciudades y periodo especificados.
- Planimetrías digitales. Se solicitó a Sectra planimetrías digitales de las ciudades en estudio.
- Información de flujos vehiculares y catastros operativos. Se solicitó, a través de la contraparte técnica del estudio, información relativa a mediciones de tránsito vehicular y catastros operativos, típicamente presentes en los anexos digitales de los estudios de gestión de tránsito o STU desarrollados por Sectra Central, Sectra Norte o Sectra Sur, según corresponda.

En los puntos siguientes se describe la información recibida.

3.2 Información de accidentes

3.2.1 Introducción

La información sobre los accidentes de tránsito en el país es registrada en terreno por Carabineros de Chile mediante un formulario cuya información es posteriormente traspasada a una base de datos con cobertura nacional. Carabineros administra esta base de datos y mantiene acuerdos con Conaset mediante los cuales se brinda acceso a esta última, quien a su vez lleva a cabo múltiples procesos sobre ella.

La base de datos SIEC-2 está compuesta por tres tablas que se vinculan entre sí mediante un identificador único para cada accidente (Crr_registro), cuyos campos se describen en las siguientes tablas.

Tabla 3-1: Estructura tabla Accidentes-Base SIEC-2

Nombre campo	Descripción
Año	Año de ocurrencia del accidente
Crr_registro	Identificador del accidente
Cod_clase_accidente	Código clase de accidente, 1: acc. tránsito, 2: acc. Ferroviario
Fec_registro	Fecha del accidente en formato dd-mm-aa
Num_hora	Hora del accidente en formato hh-mm
Cod_comuna	Código de comuna donde ocurrió accidente
Region	Código región donde ocurrió accidente: 1-13
Cod_causa	Código causa probable del accidente, se consideran 59 posibles causas
Cod_tip_accid	Código tipo de accidente, se consideran 25 tipos de accidentes
Tipoaccidente	Glosa descriptiva del tipo de accidente
Cod_urbrur	Código sector del sector donde ocurrió el accidente
Urba_rur	Glosa descriptiva del tipo de sector (urbano, interurbano o vía férrea)
Cod_ubicrela	Código ubicación relativa del accidente
Ubicación relativa	Glosa descriptiva de la ubicación relativa del accidente, se consideran 18 tipos de accidente
Cod_estatmosf	Código del estado atmosférico al momento del accidente, se consideran 6 estados posibles
Estadoatmosferico	Glosa descriptiva del estado atmosférico al momento del accidente
Cod_calzada	Código clase de calzada

Nombre campo	Descripción
Calzada	Glosa descriptiva de la clase de calzada (unidireccional, bidireccional)
Cod_tipcalzad	Código tipo de material calzada, se consideran 6 tipos de material
Tipocalzada	Glosa descriptiva del tipo de calzada
Cod_estcalzad	Código estado de la calzada
Estadocalzada	Glosa descriptiva estado de la calzada (bueno, regular, malo)
Cod_condcalzada	Código condición de la calzada, se consideran 9 condiciones
Condicioncalzada	Glosa descriptiva condición de la calzada (seco, húmedo, con barro, etc.)
Calle1	Nombre de primera calle de referencia
Calle2	Nombre de segunda calle de referencia
Altura	Numeración frente a la que ocurrió el accidente si éste se produjo en un tramo de vía
Ruta1	Nombre de primer camino de referencia para accidentes interurbanos
Ruta 2	Nombre de segundo camino de referencia para accidentes interurbanos
Kilometro	Kilómetro en el que ocurrió el accidente si éste se produjo en un tramo de vía
Km_tren	Kilómetro de la vía férrea en el que ocurrió el accidente

Fuente: Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas (Sectra, 2007)

Tabla 3-2: Estructura Tabla Personas-Base SIEC-2

Nombre campo	Descripción
Año	Año de ocurrencia accidente
Crr_registro	Identificador del accidente
Cod_calidad	Código para participación de la persona
Calidad	Glosa descriptiva para participación de la persona: conductor, pasajero o peatón
Cod_sexo	Código sexo persona, 1: masculino, 2: femenino
Num_edad	Edad de la persona
Cod_resultado	Código consecuencias accidente en la persona (1: muerto, 2: herido grave, 3: herido menos grave, 4: herido leve, 5: ileso)
Cod_cinturon	Código uso cinturón de seguridad o casco (0: se ignora, 1: sí, 2: no)

Nombre campo	Descripción
Cod_licencia	Código tipo de licencia de conducir (si es conductor)
Cod_condfísica	Código condición física (si es conductor)
Condfísica	Código condición física (si es conductor)
Cod_nacionalidad	Código nacionalidad (si es conductor)
Nacionalidad	Glosa descriptiva de nacionalidad

Fuente: Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas (Sectra, 2007)

Tabla 3-3: Estructura Tabla Vehículos-Base SIEC-2

Nombre campo	Descripción
Año	Año de ocurrencia accidente
Crr_registro	Identificador del accidente
Cod_vehiculo	Código tipo de vehículo, se consideran 30 tipos
Tg_vehiculos_idf_glosa	Glosa descriptiva del tipo de vehículo
Cod_servicio	Código tipo de servicio que realizaba el vehículo, se consideran 17 tipos de servicio
Tg_servicios_idf_glosa	Glosa descriptiva del tipo de servicio
Cod_direccion	Código dirección de viaje del vehículo, se considera 5 direcciones
Tg_direccion_idf_glosa	Glosa descriptiva dirección de viaje
Cod_consecuencia	Código consecuencias en el vehículo, se considera 3 opciones
Tg_consecuencia_idf_glosa	Glosa descriptiva consecuencias en el vehículo
Cod_maniobra	Código de maniobra realizada por el vehículo, se considera 18 opciones de maniobras
Tg_maniobras_idf_glosa	Glosa descriptiva maniobra del vehículo

Fuente: Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas (Sectra, 2007)

Múltiples análisis previos sobre estas bases de datos muestran que, si bien poseen una importante cobertura, también adolecen de variados problemas que es necesario tener en cuenta a la hora de trabajar con ellas. Entre estos problemas se cuentan:

- Universo de accidentes registrados. Es sabido que la base de datos SIEC-2 incluye sólo una pequeña cantidad de accidentes sin lesionados, en disonancia con el hecho de que estos accidentes son la gran mayoría. Ante el subreporte de este tipo de accidentes, se sugiere eliminarlos y considerar sólo los accidentes con lesionados.
- Localización de accidentes. En la experiencia del consultor, la cantidad de accidentes sin información de localización (o con información de localización incorrecta, en el sentido de que no es posible localizarlo)

representa una proporción elevada. En el enfoque adoptado, si bien se evita el sesgo de sobreestimación al considerar sólo los lugares con accidentes, persiste el sesgo de subestimar los accidentes, pues existe una proporción de ellos que no pueden ser localizados y, sin embargo, se sabe que ocurrieron.

- Relación de vehículos y ocupantes. La base de datos no registra la relación entre vehículos y sus ocupantes y, en consecuencia, no es posible identificar en qué vehículo se encontraba cada lesionado. Por ejemplo, si se estudia un accidente en que participó un automóvil y una moto con resultado de un lesionado, no es posible saber a ciencia cierta si ese lesionado se encontraba a bordo del automóvil o de la moto.
- Descripción del accidente. Los campos que contiene la base de datos no permiten hacer análisis detallados de los accidentes.
- Información disponible. En la experiencia del consultor, varios de los campos de la base de datos suelen estar incompletos o, derechamente, vacíos, sobre todo en lo que se refiere a localidades más pequeñas.
- Registros repetidos. Adicionalmente, es posible encontrar en la base de datos una cantidad de accidentes que están reportados con más de un Crr_registro, aumentando de esta manera artificialmente la cantidad de accidentes. Estos accidentes, que no son detectables mediante procesos automáticos, comparten distintos atributos como hora y localización, pero a veces difieren en otros campos.

3.2.2 Depuración de la información

La información de accidentes fue recibida en varias entregas sucesivas, cada una de las cuales fue complementando a las anteriores con antecedentes adicionales, lo que obligó a un trabajo previo de consolidación.

Una vez consolidada, la base de datos que incluye los accidentes registrados en las cinco ciudades de interés, que a su vez están compuestas por 43 comunas: Antofagasta (1 comuna), Valparaíso (5 comunas), Santiago (34 comunas), Temuco (2 comunas) y Punta Arenas (1 comuna). La información está referida, además, al periodo de análisis considerado de 5 años (2008 a 2012, ambos inclusive). El proceso de consolidación forzó, además, a escoger el conjunto de campos a considerar y que contempla 26 campos (ver descripciones en la Tabla 3-1), a saber:

- Año
- Idaccidente
- Fecha
- Hora
- Region
- Comuna
- Zona

- Ubicación relativa
- Calle uno
- Calle dos
- Altura
- Ruta
- Km ruta
- Calzada
- Tipo calzada
- Estado calzada
- Condición calzada
- Estado atmosférico
- Causa
- Grupo causa
- Tipo accidente
- Grupo tipo
- Fallecidos
- Graves
- Menos graves
- Leves

Notar que los últimos campos, que se refieren a las víctimas, provienen necesariamente de procesos sobre la tabla de personas, pero están ya calculados en la información obtenida por parte de Conaset.

Luego de consolidada la base, se llevó a cabo un primer proceso de depuración que consistió en eliminar los accidentes que no son de interés para este análisis, de acuerdo a lo descrito anteriormente: accidentes rurales y accidentes sin víctimas.

La tabla cuenta con poco más de 68 mil registros, divididos por ciudad, comuna y año como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 3-4: Totales de accidentes considerados por año, ciudad y comuna

Ciudad	Comuna	2008	2009	2010	2011	2012	Total general
Antofagasta	Antofagasta	941	959	671	656	348	3.575
Valparaíso	Concón	31	38	85	97	76	327
	Quilpué	415	416	444	445	443	2.163
	Valparaíso	870	820	637	709	659	3.695
	Villa Alemana	195	215	214	172	150	946
	Viña Del Mar	363	334	405	319	439	1.860
Total Valparaíso		1.874	1.823	1.785	1.742	1.767	8.991
Santiago	Cerrillos	60	64	104	152	87	467
	Cerro Navia	229	187	193	175	222	1.006
	Conchalí	259	120	145	261	273	1.058
	El Bosque	193	93	133	144	170	733
	Estación Central	233	267	223	213	229	1.165

Ciudad	Comuna	2008	2009	2010	2011	2012	Total general
	Huechuraba	187	122	93	124	168	694
	Independencia	159	111	104	154	148	676
	La Cisterna	352	208	264	238	210	1.272
	La Florida	694	676	687	373	331	2.761
	La Granja	200	143	144	193	233	913
	La Pintana	215	177	191	222	252	1.057
	La Reina	232	174	205	175	214	1.000
	Las Condes	587	463	480	495	479	2.504
	Lo Barnechea	124	118	125	66	10	443
	Lo Espejo	62	96	70	82	55	365
	Lo Prado	200	140	157	137	155	789
	Macul	197	193	138	120	245	893
	Maipú	703	738	952	660	265	3.318
	Ñuñoa	453	677	673	742	780	3.325
	P. Aguirre Cerda	85	179	104	113	233	714
	Peñalolén	227	182	234	251	227	1.121
	Providencia	341	249	225	358	518	1.691
	Pudahuel	285	304	391	361	332	1.673
	Puente Alto	795	774	819	789	419	3.596
	Quilicura	404	100	143	203	213	1.063
	Quinta Normal	350	357	313	280	320	1.620
	Recoleta	239	324	262	159	187	1.171
	Renca	89	86	59	143	157	534
	San Bernardo	254	152	226	136	297	1.065
	San Joaquín	209	197	200	212	204	1.022
	San Miguel	285	234	168	211	48	946
	San Ramón	191	197	99	61	159	707
	Santiago	1493	1052	1192	1275	1192	6.204
	Vitacura	264	245	306	336	395	1.546
Total Santiago		10.850	9.399	9.822	9.614	9.427	49.112
Temuco	Padre Las Casas	15	30	24	34	28	131
	Temuco	821	797	895	861	889	4.263
Total Temuco		836	827	919	895	917	4.394
Punta Arenas	Punta Arenas	410	475	476	488	234	2.083
Total general		14.911	13.483	13.673	13.395	12.693	68.155

Fuente: Conaset (2014)

3.2.3 Información georreferenciada

En el caso particular de Santiago, que representa poco más del 70% de los datos considerados en este estudio, se cuenta además con información georreferenciada de los accidentes. Esta información proviene originalmente de la misma base de datos referida en el punto anterior, cuyos datos de calle 1, calle 2, altura, ruta y Km son procesados por Conaset para producir bases de datos georreferenciadas en que cada accidente es representado por un punto geográfico.

Si bien existe un trabajo previo de normalización de los nombres de calle, subsisten algunos errores de ingreso de la información (y posiblemente también

de las bases de datos geográficas con las calles y numeración) que impiden localizar todos los accidentes. De todas formas, la proporción de accidentes localizados es muy alta y, dependiendo de los filtros que se aplique sobre los accidentes, llega incluso al 100%.

En las otras ciudades, no existen bases de datos georreferenciadas disponibles, y los nombres de calle no se encuentran normalizados.

3.2.4 Otra información de la base de datos

En términos generales, los campos seleccionados cuentan con una cobertura elevada, en el sentido de que la inmensa mayoría de los registros cuentan con información. Esta situación es un avance respecto de revisiones previas de esta base de datos.

Persiste, sin embargo, la duda sobre la calidad y pertinencia de la información que contienen dichos campos, materia que se aborda más adelante en este informe, en el capítulo destinado al análisis de la accidentabilidad.

3.3 Planimetrías

En el marco de este estudio se ha tenido acceso a las planimetrías de las cinco ciudades consultadas, a saber: Antofagasta, Valparaíso, Santiago, Temuco y Punta Arenas. Todas las planimetrías fueron proporcionadas por Sectra, y se describen más adelante. Sin embargo, debido a ciertas limitaciones que se discuten más adelante, se decidió complementar la información de planimetrías con una segunda fuente, OpenStreetMap, que corresponde a un mapa desarrollado en forma colaborativa y acogido a licencias de tipo open data, es decir, con libertad de uso sujeto a cita de la fuente.

Por último, cabe mencionar que en forma adicional a la revisión de estas planimetrías se ha hecho una revisión de otras planimetrías en línea, orientada a identificar mecanismos de geolocalización, materia que se discute al final de esta sección.

3.3.1 Planimetrías Sectra

En los puntos siguientes se describe brevemente cada una de las planimetrías obtenidas de Sectra.

a) Antofagasta

Figura 3-1: Vista general planimetría



Fuente: Sectra

Tabla 3-5: Campos disponibles

Campo	Tipo	Ancho
ID	Integer	10
ID_EJE	Integer	11
ID_CALLE	Integer	11
ZONA	Integer	11
CLASE	Character	254
NOMBRE_ART	Character	254
CARPETA	Character	254
INI_IZQ	Integer	11
INI_DER	Integer	11
FIN_IZQ	Integer	11
FIN_DER	Integer	11
CERO	Character	254
TRANSITO	Integer	11
TIPO	Character	254
VELOCID	Integer	11
RESIST	Integer	11
PISTAS	Integer	11
OBS_IZQ	Character	254
OBS_DER	Character	254
OBS_GRL	Character	254
DIG_SIG	Integer	11
PRSO	Integer	11
COM_IZQ	Character	254
COM_DER	Character	254
CPOSTIZQ	Character	254
CPOSTDER	Character	254
COCALLEI	Character	254
COCALLED	Character	254
POBVILLI	Character	254
POBVILLD	Character	254
FLUJO	Integer	11
STATUS	Character	254

Fuente: Sectra

La base de datos cuenta con 10.155 registros. 435 poseen el valor “SIN NOMBRE” en el campo “NOMBRE_ART” y 3.054 poseen 0 en todos los campos de numeración.

b) Valparaíso

Figura 3-2: Vista general planimetría

Fuente: Sectra

Tabla 3-6: Campos disponibles

Campo	Tipo	Ancho
ID	Integer	10
ID_EJE	Integer	11
ID_CALLE	Integer	11
ZONA	Integer	11
CLASE	Character	254
NOMBRE_ART	Character	254
CARPETA	Character	254
INI_IZQ	Integer	11
INI_DER	Integer	11
FIN_IZQ	Integer	11
FIN_DER	Integer	11
CERO	Character	254
TRANSITO	Integer	11
TIPO	Character	254
VELOCID	Integer	11

Campo	Tipo	Ancho
RESIST	Integer	11
PISTAS	Integer	11
OBS_IZQ	Character	254
OBS_DER	Character	254
OBS_GRL	Character	254
DIG_SIG	Integer	11
PRSO	Integer	11
COM_IZQ	Character	254
COM_DER	Character	254
CPOSTIZQ	Character	254
CPOSTDER	Character	254
COCALLEI	Character	254
COCALLED	Character	254
POBVILLI	Character	254
POBVILLD	Character	254
FLUJO	Integer	11
STATUS	Character	254

Fuente: Sectra

La base de datos cuenta con 8.992 registros. 1.203 poseen el valor "SIN NOMBRE" en el campo "NOMBRE_ART" y 2.183 poseen 0 en todos los campos de numeración.

c) Santiago

Figura 3-3: Vista general planimetría



Fuente: Sectra

Tabla 3-7: Campos disponibles

Campo	Tipo	Ancho
ID	Integer	10
ID_EJE	Integer	11
ID_CALLE	Integer	11
ZONA	Integer	11
CLASE	Character	254
NOMBRE_ART	Character	254
CARPETA	Character	254
INI_IZQ	Integer	11
INI_DER	Integer	11
FIN_IZQ	Integer	11
FIN_DER	Integer	11
CERO	Character	254
TRANSITO	Integer	11
TIPO	Character	254
VELOCID	Integer	11
RESIST	Integer	11
PISTAS	Integer	11
OBS_IZQ	Character	254
OBS_DER	Character	254
OBS_GRL	Character	254
DIG_SIG	Integer	11
PRSO	Integer	11
COM_IZQ	Character	254
COM_DER	Character	254
CPOSTIZQ	Character	254
CPOSTDER	Character	254
COCALLEI	Character	254
COCALLED	Character	254
POBVILLI	Character	254
POBVILLD	Character	254
FLUJO	Integer	11
STATUS	Character	254

Fuente: Sectra

La base de datos cuenta con 196.645 registros. 2.780 poseen el valor “SIN NOMBRE” en el campo “NOMBRE_ART” y 43.264 poseen 0 en todos los campos de numeración.

d) Temuco

Figura 3-4: Vista general planimetría

Fuente: Sectra

Tabla 3-8: Campos disponibles

Campo	Tipo	Ancho
ID	Integer	10
FNODE_	Integer	11
TNODE_	Integer	11
LPOLY_	Integer	11
RPOLY_	Integer	11
LENGTH	Real Number	20
TEMUCO2_	Integer	11
TEMUCO2_ID	Integer	11
INIIZQ	Real Number	20
TERIZQ	Real Number	20
INIDER	Real Number	20
TERDER	Real Number	20
NOMBRE	Character	50
PREFIJO	Character	2
CLASE	Character	10
OBSERV_1	Character	50

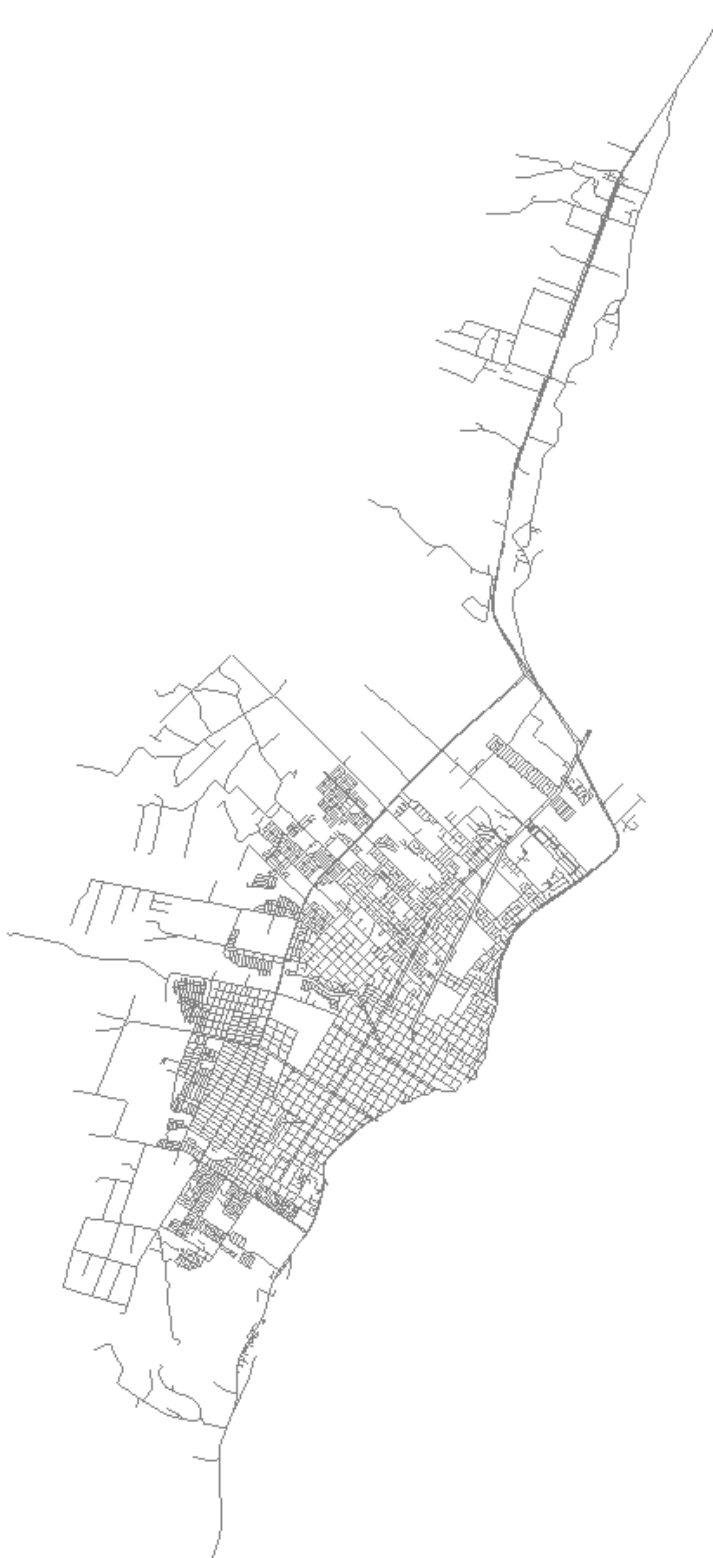
Campo	Tipo	Ancho
LAYER	Character	30

Fuente: Sectra

La base de datos cuenta con 12.010 registros. 1.056 no poseen valor en el campo "NOMBRE", 917 poseen el valor "SIN NOMBRE" y 4.493 poseen 0 en todos los campos de numeración.

e) Punta Arenas

Figura 3-5: Vista general planimetría



Fuente: Sectra

Tabla 3-9: Campos disponibles

Campo	Tipo	Ancho
ID	Integer	10
ID_EJE	Integer	11
ID_CALLE	Integer	11
ZONA	Integer	11
CLASE	Character	254
NOMBRE_ART	Character	254
CARPETA	Character	254
INI_IZQ	Integer	11
INI_DER	Integer	11
FIN_IZQ	Integer	11
FIN_DER	Integer	11
CERO	Character	254
TRANSITO	Integer	11
TIPO	Character	254
VELOCID	Integer	11
RESIST	Integer	11
PISTAS	Integer	11
OBS_IZQ	Character	254
OBS_DER	Character	254
OBS_GRL	Character	254
DIG_SIG	Integer	11
PRSO	Integer	11
COM_IZQ	Character	254
COM_DER	Character	254
CPOSTIZQ	Character	254
CPOSTDER	Character	254
COCALLEI	Character	254
COCALLED	Character	254
POBVILLI	Character	254
POBVILLD	Character	254
FLUJO	Integer	11
STATUS	Character	254

Fuente: Sectra

La base de datos cuenta con 6.270 registros. 360 poseen el valor “SIN NOMBRE” en el campo “NOMBRE_ART” y 1.692 poseen 0 en todos los campos de numeración.

f) Comentarios

En general, se puede apreciar que las bases de datos son bastante homogéneas, sin perjuicio de que presentan diferencias. En términos de los requerimientos de

este estudio, posiblemente los campos que más se requieren son los relacionados con nombres de calle y numeración, ambos presentes en la base de datos (aunque eventualmente con distintos nombres).

Sin perjuicio de ello, se puede apreciar que existe una cantidad no despreciable de arcos sin nombre y/o sin numeración, lo que impondrá dificultades en las labores de localización de accidentes y de los puntos de control de flujo vehicular y catastro operativo.

De esta forma, la utilidad de estas planimetrías es acotada, por lo que se ha explorado otras alternativas, como las que se discuten en las secciones siguientes.

3.3.2 Planimetrías de OpenStreetMap

Como una forma de completar las planimetrías entregadas por Sectra, se ha explorado una segunda alternativa que corresponde a la información disponible de forma gratuita en el sitio www.openstreetmap.org, donde se puede ver y descargar archivos SIG (.shp) con las planimetrías de todas las ciudades consultadas.

En el caso de esta fuente, la base de datos asociada es la misma para todas las ciudades y contiene los campos que se describen en el siguiente cuadro.

Tabla 3-10: Campos disponibles

Campo	Contenido
ID	Identificador
Name	Nombre de calle
Ref	Nombres alternativos de la calle
Type	Tipo de calle, de acuerdo a la siguiente categorización: a. Trunk; b. Trunk_link; c. Primary; d. Primary_link; e. Motorway_link; f. Motorway; g. Unclassified; h. Track; i. Tertiary; j. Tertiary_link; k. Steps; l. Service: Calles que están asociadas a un servicio (ej: Sodimac); m. Secondary; n. Secondary_link; o. Road; p. Residential; q. Pedestrian; r. Path; s. Living_street; t. Footway; u. Cycleway; v. Crossing; w. Construction; x. Bridleway
Oneway	Campo binario (1,0) que establece si se trata de una vía unidireccional o no.
Bridge	Campo binario (1,0) que establece si se trata de un puente
Maxspeed	Campo que establece la velocidad máxima de la vía (presente sólo excepcionalmente)

Fuente: OpenStreetMap.org

Respecto de la completitud de los campos, cabe destacar detenerse en el de nombre de calle, que es el más interesante para los análisis posteriores. Este campo tiene una presencia variable por ciudad, como sigue: Antofagasta: 58%, Temuco: 73%, Gran Valparaíso: 56%, Punta Arenas: 84% y Santiago: 69%.

Finalmente, en las figuras siguientes se presenta una imagen que permite ver la cobertura de las planimetrías obtenidas de esta fuente.

Figura 3-6: Vista general planimetría de Antofagasta



Fuente: OpenStreetMap.org

Figura 3-7: Vista general planimetría de Valparaíso



Fuente: OpenStreetMap.org

Figura 3-8: Vista general planimetría de Santiago



Fuente: OpenStreetMap.org

Figura 3-9: Vista general planimetría de Temuco



Fuente: OpenStreetMap.org

Figura 3-10: Vista general planimetría de Punta Arenas



Fuente: OpenStreetMap.org

3.3.3 Servicios de geolocalización

La información de planimetrías tiene por finalidad ayudar en los procesos de localización tanto de los accidentes en análisis descritos en la sección anterior, como de los puntos de medición considerados y referidos en la sección siguiente.

En el primer caso, la cantidad de puntos es relativamente acotada y, de todas formas, requiere procesamiento manual uno a uno, lo que hace más fácil identificar la posición geográfica del lugar y registrar sus coordenadas. El caso de los accidentes, sin embargo, es notoriamente más complejo. Si bien cerca de un

70% de los 68 mil accidentes ya se encuentra localizado, el 30% restante (unos 21 mil) no lo está y, a pesar de que la metodología inicialmente definida no involucra la geolocalización de todos ellos, se ha determinado que existe un valor adicional en hacerlo y por ello se ha explorado alternativas para lograrlo a costo y plazos razonables.

Las principales dificultades para enfrentar procesos de localización automáticos utilizando las direcciones de los accidentes y las planimetrías obtenidas radican en dos aspectos: la falta de normalización en los campos que contienen nombres de calle y la falta de información de numeración. El primer aspecto se refiere al hecho de que el mismo nombre de calle puede estar referido de distintas formas en las base de datos. El segundo guarda relación con la pobreza de la información de nombres de calle y numeración en las bases disponibles, tal como se ha discutido previamente.

A fin de superar esta limitación, se ha explorado la utilización de servicios automáticos de geolocalización. El ejemplo más evidente es el de Google Maps, herramienta que si bien no permite descargar el mapa para hacer búsquedas con herramientas de SIG en forma local, permite encontrar direcciones basadas en su mapa de Google. Una primera ventaja que se hace evidente es la gran cobertura de la información de numeración que, si bien no es posible de cuantificar, la experiencia de uso muestra que es muy extendida, al menos en las ciudades en estudio. Otra ventaja muy importante frente a desarrollar este proceso en forma local, es que el motor de búsqueda es “perdonador”, en el sentido de que admite llevar a cabo búsquedas aunque no se cuente con el nombre de calle denominado de exactamente la misma forma que la base de datos. Así, en un navegador cualquiera es posible escribir una dirección y obtener con una buena probabilidad una localización adecuada.

Adicionalmente, Google Maps dispone de una API para geocoding (que es la forma en que se denomina al proceso de convertir un texto que contiene una dirección en una coordenada geográfica) que permite, eventualmente, procesar consultas en lotes, disminuyendo de esta forma notoriamente los tiempos de procesamiento. Esta herramienta es de gran utilidad para las materias de este estudio, y mayor documentación técnica puede ser encontrada en <https://developers.google.com/maps/documentation/geocoding/?hl=en>.

Lamentablemente, la herramienta de Google Maps cuenta con una limitación importante para el caso de Chile: no permite hacer consultas asociadas a intersecciones. Es decir, si bien puede encontrar la dirección “Fidel Oteiza 1916, Providencia” no puede encontrar la dirección “Fidel Oteiza con Marchant Pereira”, lo cual es una limitación relevante, pues parte importante de la data de localización se encuentra en esa forma. De acuerdo a la documentación de Google esta característica está disponible para algunos países, pero no es el caso de Chile.

Complementariamente, entonces, se ha explorado un sitio de ESRI (autores de ArcGIS) que cuenta con servicio de búsquedas de direcciones: <http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?useExisting=1>.

Este servicio, ArcGIS Online Geocoding Service, también cuenta con una API (<https://geocode.arcgis.com/arcgis/index.html>) que permite hacer consultas en lote y que ofrece la ventaja de que admite la búsqueda de direcciones en la forma de intersecciones.

Finalmente, cabe mencionar otras cartografías en línea de interés para este estudio. Google, además, ofrece el servicio StreetView, que permite ver fotografías panorámicas en distintos lugares de la red, lo cual ayuda muchas veces a esclarecer situaciones en que la dirección presenta alguna inconsistencia. Waze, por su parte, es una aplicación de navegación por GPS para dispositivos móviles, cuenta con una cartografía que si bien no puede ser descargada ni admite APIs de búsqueda, tiene la ventaja de estar muy actualizada en lo relativo a nombres de calle, sobre todo en urbanizaciones recientes. dMapas, por último, es una cartografía desarrollada por El Mercurio que tiene la ventaja de contar con fotos del estilo de StreetView, de menor calidad, pero para una mayor cantidad de ciudades en Chile.

3.4 Información de flujos y características viales

La tercera temática de información se refiere a la información de flujos vehiculares y características viales a utilizar como variables explicativas de los modelos de predicción de accidentes. Como se recordará, el enfoque metodológico utilizado en este trabajo consistió en identificar y caracterizar una serie de lugares de las ciudades en análisis en función de su flujo y de otras características físicas-operativas para un momento (año) dado, para luego relacionar dichas características con la cantidad de accidentes que ocurrieron en dicho lugar en ese momento (año), sean estos cero o una cantidad superior.

Este enfoque, cuyas ventajas son evidentes frente a otras alternativas, tal como se ha discutido previamente en este informe, tiene la dificultad de que requiere obtener información representativa de los lugares en momentos específicos. Para superar esta dificultad, se llevó a cabo un intenso trabajo con la contraparte técnica del estudio (Sectra) mediante el cual se identificó una importante cantidad de estudios realizados en las ciudades en análisis (Antofagasta, Gran Valparaíso, Gran Santiago, Temuco y Punta Arenas) con mediciones durante el periodo de análisis (2008-2012) y en los cuales se pudiera encontrar información de catastros físico-operativos y de flujos. Típicamente, esto se refiere a estudios tácticos de evaluación de mejoras en ejes viales y a estudios relacionados con los modelos estratégicos de las ciudades (STU), pero también a otros, como se puede apreciar más adelante.

De acuerdo al listado de estudios identificados, Sectra llevó a cabo un proceso interno de recopilación de los anexos digitales de los estudios, producto del cual pudo entregar al consultor copia de más de 50 estudios. Posteriormente, el consultor llevó a cabo un proceso de análisis de cada uno de ellos, determinándose que para efectos de este estudio 27 eran relevantes, es decir, contenían información de flujo y características físico-operacionales dentro del periodo de análisis.

En el cuadro siguiente se presenta un listado de los estudios levantados en cada ciudad y en el capítulo siguiente se presenta el proceso de construcción de la base de datos que se utilizó para calibrar los modelos.

Se llevó a cabo una revisión de los datos disponibles en las fuentes descritas, cuyo resumen se puede ver en el siguiente cuadro.

Tabla 3-11: Resumen de los datos disponibles

Nombre del estudio	Año	Puntos de medición		Catastro físico-operativo	Comentario
		Con-tinua	Periódica		
Actualización Diagnostico del S.T.U. de la Ciudad de Antofagasta	2010	15	70	Disponible	Tramos de vía
Análisis y Desarrollo Planes Maestros Gestión de Tránsito, Antofagasta	2011	0	44	Disponible	Intersecciones, sin mediciones continuas
Diagnostico Conectividad Transversal en Ejes de Antofagasta	2013	5	25	No disponible	Intersecciones
Mejoramiento Av. Ejercito entre H. Avila y Ruta 28, Antofagasta	2009	3	32	Disponible	Intersecciones
Mejoramiento y Prolongacion Avenida Angamos, Antofagasta	2012	3	41	Disponible	29 Intersecciones + 12 tramos
Análisis Asistencia Técnica Gestión de Tránsito y Transporte Público, Zona Norte, OT N°21	2008	6	0	No disponible	Todas intersecciones
Análisis Asistencia Técnica Gestión de Tránsito y Transporte Público, Zona Norte, OT N°27	2008	0	32	Disponible	Todas intersecciones. Viña del Mar
Análisis Asistencia Técnica SCAT Gran Valparaíso, OT N°06 a Trasa Ing. LTDA	2007	0	112	No disponible	Todas intersecciones. Valparaíso. Año 2007.
Mejoramiento interconexión vial norte sur estero Marga Marga.-	2012	3	50	No disponible	Todas intersecciones. Viña del Mar
Mejoramiento y propolongación Av. Alemania	2009	3	46	Disponible	Todas intersecciones
Diagnóstico Interconexión Vial Norte-Sur Quilpué-Villa Alemana	2013	3	50	Disponible	
Análisis Conexiones Viales Sector Norte de la Región Metropolitana	2008	3	116	Disponible	Algunos (aproximadamente 16) en tramo de vía.
Análisis Conexiones Viales Sector Sur de la Ciudad Santiago	2009	2	100	Disponible	52 puntos en intersecciones, 48 en tramos de vía
Análisis Conexiones Viales Sector Sur Oriente de la Ciudad de Santiago	2010	3	79	No disponible	52 en intersección y 47 en tramos de vía (utilizaron 99 puntos de control pues sumaron unos del estudio "Análisis Conexiones Viales Sur de la Ciudad de Santiago")
Análisis de Zonas Congestionadas del sector Poniente de Santiago	2012	0	100	Disponible	Todas intersecciones. 29 en Maipú, 16 en Lo Prado, 24 en Renca y 22 en Cerro Navia
Análisis Mediciones Continuas de Tránsito en la Ciudad de Santiago	2011	10	0	Disponible	Todos Tramos
Análisis y Desarrollo Planes Maestros de Gestión de Tránsito, Comuna de La Pintana	2006	2	31	Disponible	Todos en intersección. Año 2006.
Análisis y Evaluación del Plan Maestro de Ciclovías del Gran Santiago	2012	0	200	No disponible	Orientados a Bicicletas pero incluyen modos motorizados. Parecen ser todos en tramos de vía.

Nombre del estudio	Año	Puntos de medición		Catastro físico-operativo	Comentario
Mediciones de Aforos de Tráfico y Perfiles de Carga en Servicios Troncales en el Gran Santiago	2012	40	492	No disponible	Puntos continuos son del 2011.
Análisis Táctico de Proyectos de Transporte Urbano, Etapa II, OT N°17	2012	0	2	Disponible	Todas intersecciones
Análisis Táctico de Proyectos de Transporte Urbano, Zona Sur, Etapa I, OT N°04	2009	0	10	No disponible	Todas intersecciones
Mejoramiento Av. Pedro de Valdivia y Red de Ciclovías, Temuco	2006	2	29	Disponible	Todas intersecciones. Año 2006.
Mejoramiento Interconexión vial Centro Poniente, Temuco	2010	3	50	Disponible	Todas intersecciones
Actualización Plan de Transporte de Punta Arenas y Desarrollo de Anteproyecto	2011	3	22	Disponible	8 en tramo, el resto en intersecciones
Implementación Asistencia Técnica Gestión de Tránsito Zona Sur, Etapa I, OT N°9	2006	3	15	Disponible	Periódicos y Continuos en intersecciones. Año 2006.
Implementación del Modelo Cálculo de Emisiones Vehiculares (MODEM) en ciudades con planes de transporte y planes de gestión de tránsito	2012	10	20	No disponible	Midieron en las ciudades de Ovalle, Curicó, Linares, Angol, Concepción y Punta Arenas. 65 continuos y 125 periódicos en total, en Concepción 15 PC y 25 PP, en Punta Arenas 10 PC y 20 PP. La mayoría en intersecciones.
Mejoramiento Gestión de Tránsito Red Centro de Punta Arenas	2007	0	78	Disponible	Todas intersecciones. Año 2007.

Fuente: Elaboración propia

A modo de resumen, considérese el siguiente cuadro, en que se muestra la cantidad de puntos de control por ciudad, año y tipo.

Tabla 3-12: Resumen de puntos de control disponibles por ciudad

Ciudad	2008	2009	2010	2011	2012
Antofagasta		35	85	44	74
Gran Valparaíso	150	49			106
Santiago	152	102	82	10	30
Temuco	31	10	53		832
Punta Arenas	96			25	2
Total	429	196	220	79	1.044

Fuente: Elaboración propia

4 ANÁLISIS DE ACCIDENTABILIDAD

En forma adicional a la utilización de la información de accidentes para alimentar la estimación de modelos de predicción de accidentes, se busca en este capítulo hacer un análisis de la información recogida, en el sentido de caracterizar el fenómeno de la accidentabilidad en las 5 ciudades en análisis.

Para ello, se ha estructurado el capítulo en dos secciones: caracterización de los accidentes y generación de mapas de siniestralidad. En la primera de ellas se lleva a cabo un análisis de los datos de accidentes cuya recolección fue reportada en el capítulo de recopilación de datos, identificando el comportamiento de las distintas variables relacionadas con los accidentes. En la segunda sección, generación de mapas de accidentes se reporta, por un lado el proceso de georreferenciación de los accidentes y de generación de bases de datos geográficas relacionadas, así como se presenta a nivel de resultado una serie de mapas que muestran la distribución geográfica de los accidentes.

4.1 Caracterización de los accidentes

Tal como se ha reportado previamente, la base de datos construida para este estudio cuenta con poco más de 68 mil accidentes urbanos con lesionados ocurridos entre los años 2008 y 2015 en las ciudades de Antofagasta, Gran Valparaíso (5 comunas), Gran Santiago (34 comunas), Temuco (2 comunas) y Punta Arenas. Evidentemente, la mayor proporción de los accidentes se localiza en Santiago (72%) mientras que el resto se reparte en las otras ciudades como sigue: Valparaíso 13%, Temuco 6%, Antofagasta 5% y Punta Arenas 3%. La base de datos consolidada se puede encontrar en el anexo digital en un archivo Excel denominado “Accidentes 2008-2012-final-v3.0.xlsm”.

Un primer análisis que conviene desarrollar es el de comparar la cantidad de accidentes respecto de la población en cada una de las ciudades analizadas, para lo cual se ha considerado el valor promedio de accidentes por año para cada una de las ciudades y la población proyectada para las comunas que la componen de acuerdo a la información disponible en el “Programa de proyecciones de la población” del INE.

Tabla 4-1: Comparación de tasas de accidentes por habitante

Ciudad	Promedio Accidentes (acc/año)	Población comunal 2010 (hab)	Tasa (acc/100 mil hab)
Antofagasta	715	367.019	195
Valparaíso	1.798	907.383	198
Santiago	9.822	6.060.077	162
Temuco	879	377.486	233
Punta Arenas	417	124.949	333
Total general	13.631	7.836.914	174

Fuente: Elaboración propia a partir de SIEC-2 e INE

La ciudad de Punta Arenas destaca por lo elevado de la cantidad de accidentes en relación a la población, mientras que el resto de las ciudades se encuentran en un rango relativamente acotado. Posiblemente las condiciones climáticas extremas guardan relación con esta diferencia.

Respecto de la evolución de los accidentes en el tiempo, considérese la siguiente tabla.

Tabla 4-2: Evolución de accidentes y víctimas

	2008		2009		2010		2011		2012	
Ciudad	Accid	Víctim	Accid	Víctim	Accid	Víctim	Accid	Víctim	Accid	Víctim
Antofagasta	941	1.552	959	1.706	671	1.138	656	1.156	348	521
P. Arenas	410	636	475	701	476	683	488	734	234	390
Santiago	10.850	14.894	9.399	12.526	9.822	13.045	9.614	12.638	9.427	12.492
Temuco	836	1.185	827	1.226	919	1.277	895	1.298	917	1.308
Valparaíso	1.874	3.022	1.823	3.017	1.785	2.888	1.742	2.730	1.767	2.784

Fuente: Elaboración propia a partir de SIEC-2

Un primer elemento que llama la atención es que las ciudades presentan evoluciones diferentes en la cantidad de accidentes: Antofagasta presenta un descenso permanente y muy importante entre 2008 y 2012; Valparaíso muestra una baja sostenida con un pequeño repunte en 2012; Santiago muestra una baja importante de 2008 a 2009, para luego estabilizarse; Temuco muestra un aumento importante en 2010 y luego una estabilización; Punta Arenas un valor relativamente estable hasta 2011 y un descenso importante en 2012. Las cantidades de víctimas evolucionan de forma similar.

En el cuadro siguiente se explora la cantidad de víctimas por accidente para cada ciudad, distinguiendo a las víctimas por el tipo de lesiones y considerando el total de víctimas y de accidentes en la base de datos, es decir, 2008 a 2012.

Tabla 4-3: Tasas de víctimas por accidente

	Antofagasta	Punta Arenas	Santiago	Temuco	Valparaíso
Fallecidos	95	32	1352	64	162
Tasa c/1000 accidentes	26,6	15,4	27,5	14,6	18,0
Lesionados graves	566	267	8517	769	1481
Tasa c/1000 accidentes	158,3	128,2	173,4	175,0	164,7
Lesionados menos graves	345	208	4520	341	848
Tasa c/1000 accidentes	96,5	99,9	92,0	77,6	94,3
Lesionados leves	5067	2637	51206	5120	11950
Tasa c/1000 accidentes	1417,3	1266,0	1042,6	1165,2	1329,1
Total víctimas	6073	3144	65595	6294	14441
Tasa c/1000 accidentes	1698,7	1509,4	1335,6	1432,4	1606,2

Fuente: Elaboración propia a partir de SIEC-2

Se puede apreciar que en términos generales, la tasa de víctimas por accidente es un número relativamente estable, en el rango de 1.340 a 1.700 víctimas por cada mil accidentes². La tasa de fallecidos, sin embargo, presenta una dispersión bastante mayor, distinguiéndose dos grupos de ciudades: Valparaíso, Temuco y Punta Arenas con tasas relativamente bajas (14,6 a 18,0 fallecidos por mil accidentes), en contraste con Antofagasta y Santiago con tasas relativamente altas (26,6 y 27,4 fallecidos por mil accidentes, respectivamente).

Otra variable descrita en la base de datos se refiere a la ubicación relativa del accidente, para lo cual existe una serie de desagregaciones que se han agrupado para efectos de la siguiente tabla en tres: cruce, tramo y otros.

Tabla 4-4: Distribución de accidentes por ubicación relativa

Tipo	Detalle de ubicación relativa	Antofagasta	Punta Arenas	Santiago	Temuco	Valparaíso
Cruce	Cruce con semáforo apagado	0,76%	0,05%	0,36%	0,20%	0,09%
	Cruce con semáforo funcionando	28,64%	18,77%	27,87%	27,36%	8,85%
	Cruce con señal ceda el paso	11,66%	19,83%	7,75%	17,96%	5,37%
	Cruce con señal pare	11,78%	4,80%	8,36%	11,11%	7,25%
	Cruce regulado por Carabineros	0,08%	0,19%	0,06%	0,09%	0,02%
	Cruce sin señalización	15,27%	26,02%	4,13%	12,74%	9,06%
	Enlace a desnivel	0,03%	0,05%	0,07%	0,23%	0,06%
	Enlace a nivel	0,00%	0,00%	0,12%	0,00%	0,12%
	Subtotal	68,22%	69,71%	48,73%	69,69%	30,83%

² Nótese que, como se ha reportado previamente, la base de datos sólo incluye accidentes con víctimas, por lo que la cantidad de víctimas por cada mil accidentes está acotada inferiormente por 1000.

Tipo	Detalle de ubicación relativa	Antofa- gasta	Punta Arenas	Santiago	Temuco	Valpa- raíso
Tramo	Tramo de vía curva horizontal	0,34%	0,58%	0,34%	0,34%	3,14%
	Tramo de vía curva vertical	0,17%	0,24%	0,21%	0,18%	0,68%
	Tramo de vía recta	24,53%	26,64%	42,27%	28,68%	62,43%
	Subtotal	25,03%	27,46%	42,81%	29,20%	66,24%
Otros	Acceso No Habilitado	0,06%	0,00%	0,08%	0,00%	0,04%
	Acera o berma	0,25%	0,48%	0,42%	0,02%	0,24%
	Túnel	0,00%	0,00%	0,08%	0,00%	0,07%
	Plaza de peaje	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	0,14%
	Puente	0,03%	0,14%	0,06%	0,39%	0,07%
	Rotonda	0,22%	0,10%	0,40%	0,05%	0,30%
	Otros no considerados	6,18%	2,11%	7,38%	0,66%	2,06%
	Subtotal	6,74%	2,83%	8,46%	1,12%	2,93%
TOTAL		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fuente: Elaboración propia a partir de SIEC-2

En la tabla anterior se muestra como del orden del 70% de los accidentes están registrados en cruces, salvo en las ciudades de Santiago (40%) y Valparaíso (30%).

En la tabla siguiente se muestra la distribución de accidentes de acuerdo a la causa registrada por Carabineros en la base de datos, agrupando las causas en la clasificación contenida en la base de datos original recibida.

Tabla 4-5: Distribución de accidentes por Causa

Tipo	Detalle	Antofa- gasta	Punta Arenas	Santiago	Temuco	Valpa- raíso
Alcohol	Conducción bajo la influencia del alcohol	0,64%	0,29%	0,86%	1,68%	1,19%
	Conducción en estado de ebriedad	6,46%	16,18%	2,73%	6,85%	3,53%
	Ebriedad del Pasajero	0,00%	0,00%	0,07%	0,00%	0,08%
	Ebriedad del Peatón	0,95%	1,44%	0,92%	1,43%	1,10%
	Subtotal	8,06%	17,91%	4,59%	9,97%	5,89%

Tipo	Detalle	Antofa- gasta	Punta Arenas	Santiago	Temuco	Valpa- raíso
Deficiencias Viales	Animales sueltos vía pública	0,11%	0,14%	0,24%	0,07%	0,41%
	Señalización mal instalada o mantenida forma	0,00%	0,05%	0,08%	0,00%	0,00%
	Señalización Semáforo mal estado o deficiente	0,31%	0,00%	0,09%	0,07%	0,02%
	Subtotal	0,42%	0,19%	0,42%	0,14%	0,43%
Desobediencia a Señalización	Señalización desobedecer indicación Carabinero	0,06%	0,10%	0,02%	0,09%	0,03%
	Señalización desobedecer luz intermitente semáforo	0,06%	0,43%	0,20%	0,00%	0,02%
	Señalización desobedecer luz roja de semáforo	6,49%	2,40%	6,16%	8,88%	2,67%
	Señalización desobedecer otra	0,08%	0,05%	0,21%	0,00%	0,14%
	Señalización desobedecer señal ceda el paso	6,21%	8,69%	3,48%	10,15%	2,69%
	Señalización desobedecer señal pare	6,71%	2,50%	4,51%	7,08%	4,74%
	Subtotal	19,61%	14,16%	14,59%	26,19%	10,30%
Drogas y/o Fatiga en Conductor	Condiciones físicas deficientes (cansancio,	0,64%	0,14%	0,32%	0,11%	0,50%
	Conducción bajo influencia de drogas o	0,06%	0,00%	0,03%	0,02%	0,02%
	Subtotal	0,70%	0,14%	0,35%	0,14%	0,52%

Tipo	Detalle	Antofa- gasta	Punta Arenas	Santiago	Temuco	Valpa- raíso
Fallas mecánicas	Fallas mecánicas, carrocería	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	0,02%
	Fallas mecánicas, dirección	0,03%	0,10%	0,07%	0,07%	0,33%
	Fallas mecánicas, eléctrica	0,03%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%
	Fallas mecánicas, frenos	1,03%	0,53%	0,52%	0,27%	1,78%
	Fallas mecánicas, motor	0,00%	0,00%	0,02%	0,02%	0,07%
	Fallas mecánicas, neumáticos	0,28%	0,05%	0,21%	0,07%	0,37%
	Fallas mecánicas, suspensión	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%
	Vehículo en panne sin señalización o deficiente	0,03%	0,00%	0,04%	0,00%	0,01%
	Subtotal	1,40%	0,67%	0,91%	0,43%	2,58%

Tipo	Detalle	Antofa- gasta	Punta Arenas	Santiago	Temuco	Valpa- raíso
Imprudencia del Conductor	Adelantamiento en cruce, curva, cuesta, puente	0,14%	0,00%	0,23%	0,27%	0,30%
	Adelantamiento por la berma	0,00%	0,00%	0,03%	0,02%	0,04%
	Adelantamiento sin efectuar la señal respectiva	0,11%	0,00%	0,22%	0,07%	0,10%
	Adelantamiento sin el espacio o tiempo suficiente	1,23%	0,48%	1,43%	0,50%	1,55%
	Adelantamiento sobrepasando línea	0,14%	0,05%	0,23%	0,16%	0,32%
	Carga escurre a la calzada	0,06%	0,00%	0,03%	0,05%	0,02%
	Carga mayor que la autorizada vehículo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Carga obstruye visual conductor	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,01%
	Carga sobresale estructura vehículo	0,03%	0,00%	0,01%	0,05%	0,03%
	Conducción cambiar sorpresivamente pista	1,48%	0,43%	3,10%	4,03%	2,10%
	Conducción contra sentido del tránsito	0,62%	0,72%	0,70%	0,91%	0,56%
	Conducción no atento condiciones tránsito	11,72%	11,67%	17,77%	11,17%	15,20%
	Conducción por izquierda eje calzada	0,03%	0,00%	0,09%	0,02%	0,16%
	Conducción sin mantener distancia razonable ni	8,64%	1,87%	7,96%	6,94%	7,96%
	Conducir vehículo en retroceso	1,23%	0,48%	0,90%	0,64%	1,32%
	No respetar derecho de paso a peatón	7,61%	2,88%	3,91%	9,42%	7,05%
	No respetar derecho de paso a vehículo	4,87%	5,47%	2,53%	4,69%	3,28%
	Virajes indebidos	2,35%	0,67%	2,14%	0,57%	1,80%
	Subtotal	40,25%	24,72%	41,29%	39,51%	41,82%

Tipo	Detalle	Antofa- gasta	Punta Arenas	Santiago	Temuco	Valpa- raíso
Imprudencia del Pasajero	Imprudencia del Pasajero	0,11%	0,10%	0,46%	0,36%	0,36%
	Pasajero sube o desciende de vehículo movimiento	0,78%	0,10%	0,57%	2,46%	1,36%
	Pasajero viaja en pisadera de vehículo	0,17%	0,00%	0,23%	0,09%	0,24%
	Subtotal	1,06%	0,19%	1,26%	2,91%	1,96%
Imprudencia del Peatón	Imprudencia del Peatón	4,20%	2,26%	2,64%	1,27%	4,29%
	Peatón cruza calzada forma sorpresiva o	5,62%	3,17%	5,08%	6,58%	5,18%
	Peatón cruza calzada fuera paso peatones	1,03%	0,67%	1,54%	1,75%	1,36%
	Peatón cruza camino o carretera sin precaución	0,08%	0,00%	0,16%	0,09%	0,18%
	Peatón permanece sobre la calzada	0,45%	0,14%	0,66%	0,43%	0,77%
	Subtotal	11,38%	6,24%	10,07%	10,13%	11,78%
Pérdida de Control	Pérdida control vehículo	5,12%	4,22%	5,19%	5,26%	8,62%
	Subtotal	5,12%	4,22%	5,19%	5,26%	8,62%
Velocidad Imprudente	Velocidad exceso en zona restringida	0,00%	0,05%	0,03%	0,00%	0,03%
	Velocidad mayor que máxima permitida	0,28%	0,14%	0,14%	0,02%	0,10%
	Velocidad menor que mínima establecida	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Velocidad no razonable ni prudente	0,81%	1,10%	1,43%	0,39%	1,15%
	Velocidad no reducir cruce de calles, cumbre, curva,	0,22%	0,96%	0,30%	0,09%	0,37%
	Subtotal	1,31%	2,26%	1,90%	0,50%	1,65%
Causas no Determinadas	Causas no determinadas	7,72%	22,56%	9,88%	2,50%	8,32%
	Subtotal	7,72%	22,56%	9,88%	2,50%	8,32%

Tipo	Detalle	Antofa- gasta	Punta Arenas	Santiago	Temuco	Valpa- raíso
Otras Causas	Hecho delictual	0,17%	0,58%	0,24%	0,02%	0,07%
	Otras causas	2,80%	6,14%	9,30%	2,30%	6,05%
	Suicidio	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,01%
	Subtotal	2,97%	6,72%	9,56%	2,32%	6,13%

Fuente: Elaboración propia a partir de SIEC-2

Este campo ha sufrido severas críticas en distintos análisis hechos sobre el sistema SIEC-2, entre otras cosas porque establece una categorización que no es excluyente (un accidente podría deberse a la vez a la imprudencia del conductor y al estado de ebriedad del peatón. Por lo anterior, su análisis no resulta demasiado relevante a la hora de identificación de la problemática de accidentes, sobre todo porque en la práctica se califica a gran parte de los accidentes como causados por “Imprudencia del conductor” (del orden del 40% de los accidentes, salvo por Punta Arenas donde sólo es el 25%). Otras causas importantes son “Desobediencia a la señalización” e “Imprudencia del peatón”, explicando entre estas tres causas más probables cerca del 70% de los accidentes. La excepción entre las ciudades analizadas la constituye Punta Arenas, donde aparece con mucha fuerza la “Causas no determinadas” (23%). Finalmente, se comenta que la causa “Alcohol en el conductor” explica entre el 3,6% y 8,5% de los accidentes, salvo en Punta Arenas donde representa el 16,5%.

El tipo de accidente es otro campo relevante de analizar, y en la tabla siguiente se presenta la desagregación por tipo de accidente, utilizando los tipos y grupos de tipos contenidos en la base de datos original recibida por el Consultor.

Tabla 4-6: Distribución de accidentes por Tipo

Grupo Tipo	Tipo Accidente	Antofa- gasta	Punta Arenas	Santiago	Temuco	Valpa- raíso
Atropello	Atropello	28,45%	22,76%	25,55%	27,51%	29,49%
Total Atropello		28,45%	22,76%	25,55%	27,51%	29,49%
Caída	Caída	4,22%	0,72%	7,25%	4,53%	6,43%
Total Caída		4,22%	0,72%	7,25%	4,53%	6,43%

Grupo Tipo	Tipo Accidente	Antofagasta	Punta Arenas	Santiago	Temuco	Valparaíso
Choque	Choque	0,08%	0,29%	0,45%	5,35%	2,62%
	Choque Frente/Frente	0,11%	0,58%	0,44%	0,20%	0,46%
	Choque Frente/Lado	0,64%	0,96%	0,72%	0,18%	0,78%
	Choque Frente/posterior	8,70%	4,56%	3,39%	0,96%	7,12%
	Choque Frontal	3,52%	7,78%	3,96%	1,98%	4,99%
	Choque Lado/Frente	0,08%	0,58%	0,19%	0,00%	0,16%
	Choque Lado/Lado	0,25%	0,34%	0,28%	0,09%	0,41%
	Choque Lado/Posterior	0,06%	0,34%	0,24%	0,00%	0,09%
	Choque Lateral	0,42%	1,49%	0,84%	0,34%	0,76%
	Choque Posterior	0,48%	0,48%	0,43%	4,39%	0,32%
	Choque Posterior/Frente	1,03%	0,43%	1,01%	0,18%	1,88%
	Choque Posterior/Lado	0,08%	0,62%	0,21%	0,02%	0,14%
	Choque Posterior/Posterior	0,53%	2,35%	0,72%	1,09%	0,72%
Total Choque		16,00%	20,79%	12,89%	14,79%	20,45%
Colisión	Colisión	0,42%	29,19%	4,27%	25,03%	8,16%
	Colisión Frontal	3,38%	3,31%	4,78%	3,71%	3,78%
	Colisión Lateral	34,55%	13,30%	23,06%	14,25%	11,50%
	Colisión Perpendicular	0,59%	0,72%	4,60%	0,82%	6,48%
	Colisión por alcance	7,86%	4,27%	13,98%	6,03%	6,46%
Total Colisión		46,80%	50,79%	50,69%	49,84%	36,39%
Incendio	Incendio	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Total Incendio		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Otro Tipo	Impacto con animal	0,06%	0,14%	0,13%	0,07%	0,21%
	Otro Tipo	0,36%	1,73%	1,45%	0,32%	2,78%
Total Otro Tipo		0,42%	1,87%	1,58%	0,39%	2,99%
Volcadura	Volcadura	4,11%	3,07%	2,04%	2,94%	4,25%
Total Volcadura		4,11%	3,07%	2,04%	2,94%	4,25%

Fuente: Elaboración propia a partir de SIEC-2

El tipo de accidente más frecuente es “Colisión”, que explica el la mitad de los accidentes, salvo en Valparaíso, donde representa sólo un tercio. En segundo lugar, “Atropello” representa entre el 23% y 30% de los accidentes en las ciudades en análisis. El tercer tipo en importancia es “Choque” (13% a 21%), mientras que los otros tipos se presentan con frecuencias mucho menores (Caída, Incendio, Volcadura y Otro Tipo).

Resulta interesante estudiar también la relación entre los tipos de accidentes y la severidad de las lesiones, para lo cual se ha elaborado la siguiente tabla, en que se muestra la tasa de fallecidos cada 1000 accidentes, desagregando los accidentes por tipo.

Tabla 4-7: Tasa de fallecidos por cada 1000 accidentes por ciudad y tipo de accidente

	Antofagasta	Punta Arenas	Santiago	Temuco	Valparaíso
Atropello	38,3	31,6	53,6	28,9	31,7
Caída	6,6		2,2		3,5
Choque	22,7	18,5	34,9	15,4	17,9
Colisión	20,9	5,7	16,3	7,8	9,5
Incendio					
Otro Tipo			5,2		7,4
Volcadura	47,6	46,9	39,0	15,5	26,2
Promedio	26,6	15,4	27,5	14,6	18,0

Fuente: Elaboración propia a partir de SIEC-2

Claramente, el tipo de accidente con mayor frecuencia de fallecidos es la volcadura, aunque afortunadamente es un accidente poco frecuente, tal como se vio recién. Los atropellos, sin embargo, poseen una alta frecuencia de fallecimiento: del orden de 30 fallecidos por cada 1000 accidentes para todas las ciudades, salvo Antofagasta y Santiago, donde es más alta (38 y 54, respectivamente).

En la tabla siguiente se repite el mismo ejercicio, pero esta vez estimando la tasa de lesionados graves por un lado y menos graves agrupados con leves por otro.

Tabla 4-8: Tasa de lesionados por cada 1000 accidentes por tipo de lesión, ciudad, tipo de accidente

Tipo accidente	Antofagasta		Punta Arenas		Santiago		Temuco		Valparaíso	
	Graves	Menos graves y leves	Graves	Menos graves y leves	Graves	Menos graves y leves	Graves	Menos graves y leves	Graves	Menos graves y leves
Atropello	226,2	862,3	206,8	852,3	249,1	811,6	239,9	815,6	220,3	852,5
Caída	66,2	1139,1	200,0	866,7	128,6	984,3	135,7	914,6	110,7	970,6
Choque	127,6	1790,2	138,6	1300,2	144,7	1238,4	152,3	1466,2	141,4	1695,5
Colisión	118,4	1863,1	86,0	1652,2	148,3	1291,7	144,3	1443,8	134,5	1840,2
Incendio						2000,0				
Otro Tipo	266,7	800,0	102,6	1205,1	111,0	1118,7	117,6	1000,0	81,8	1074,3
Volcadura	346,9	1428,6	171,9	1093,8	239,8	1168,8	271,3	1248,1	290,6	1437,2
Total	158,3	1513,8	128,2	1365,8	173,4	1134,7	175,0	1242,8	164,7	1423,4

Fuente: Elaboración propia a partir de SIEC-2

Se puede apreciar que, salvo excepciones, las tasas son relativamente estables entre ciudades.

4.2 Generación de mapas de siniestralidad

4.2.1 Georeferenciación de los accidentes

Esta subtarea representa uno de los logros relevantes de este estudio, constituyendo su resultado no sólo una etapa del proceso, sino que también un producto en sí mismo.

Efectivamente, la localización de los accidentes es un requisito para vincular esta información con la de características físicas y operativas de los lugares y, a partir de ellas, estimar modelos predictivos de accidentes. Y si bien se había decidido inicialmente enfrentar sólo la tarea de identificar los accidentes que ocurrían en los lugares catastrados, parecía interesante explorar métodos para la geolocalización de todos los accidentes de las ciudades en estudio.

Una base de datos geolocalizada presenta distintas utilidades, partiendo por la más básica de poder ver concentraciones de accidentes sobre un mapa, como lo viene haciendo Conaset hace años con el caso de Santiago. En ese caso, se ha logrado integrar la base de datos SIEC-2 con los nombre de calle de la base geográfica que usa Conaset (SAF), de modo de garantizar que las calles con que se caracteriza la localización del accidente existan (sin perjuicio de que ello no es garantía de que la localización existe, pues puede no existir la numeración o la intersección). Desde ese punto de partida, el equipo técnico de Conaset lleva a cabo un proceso de localización con una componente manual importante.

En las otras ciudades de Chile, de las cuales hay cuatro en estudio en este trabajo, no existe integración de las bases de datos de calles con ningún sistema geográfico en particular, motivo por el cual el proceso puede ser mucho más complejo y, de hecho, no se aborda. Adicionalmente, y tal como se describió en el capítulo relativo a recolección de información, las bases de datos con las que cuenta Sectra/Conaset para el caso de las otras ciudades tienen importantes falencias en lo relativo a nombres de calle y, sobre todo, a numeración. Por lo anterior, se exploró métodos de geolocalización que, sin necesidad de un tratamiento uno a uno de los accidentes, permitieran localizar de forma automática los accidentes, aún en ausencia de compatibilidad 100% en los nombre de calle con una cartografía en particular. El producto, por lo tanto, no sólo corresponde a la localización de los accidentes de las ciudades en estudio, sino que también a la definición de método para hacerlo en esas u otras ciudades del país (incluyendo a Santiago, por supuesto).

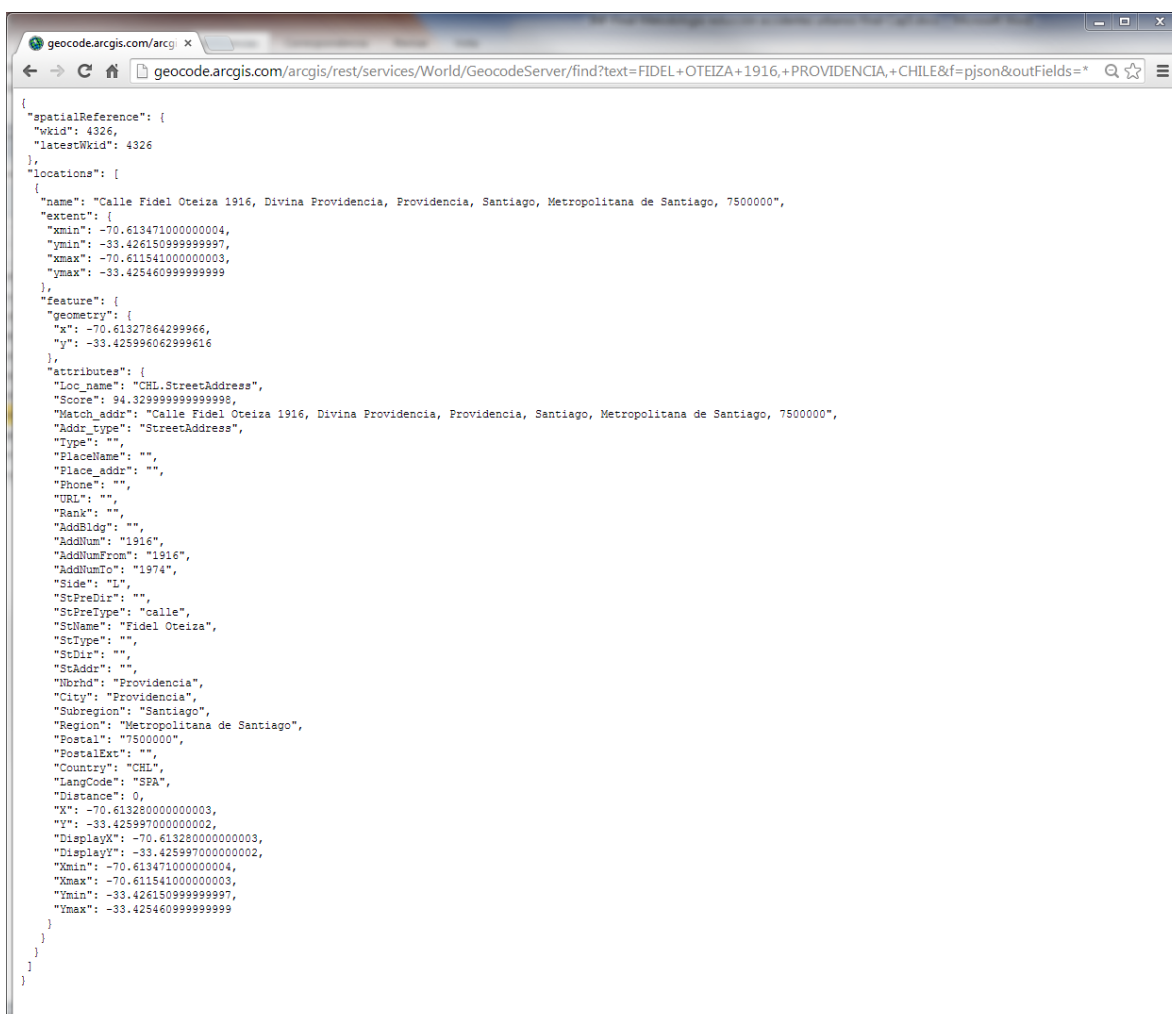
En el capítulo 3 se describe brevemente distintos servicios en línea de geolocalización, de entre los cuales se ha optado por trabajar con el de ESRI (<http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?useExisting=1>), que provee de una API de geolocalización que recibe una dirección (ya sea en

formato CALLE/NÚMERO o CALLE/CALLE) y retorna una coordenada geográfica, junto con una serie de otros parámetros.

La dirección debe ser ingresada como parte de una consulta http, cuya sintaxis se haya descrita en detalle en el sitio antes mencionado. Para el caso de este proyecto, se utilizó una forma en particular, que es aquella que retorna todos los atributos disponibles. En el ejemplo siguiente se consulta por una dirección expresada en la forma CALLE/NÚMERO, para la dirección Fidel Oteiza 1916, Providencia, Chile:

http://geocode.arcgis.com/arcgis/rest/services/World/GeocodeServer/find?text=FIDEL+OTEIZA+1916,+PROVIDENCIA,+CHILE&f=pjson&outFields=*

cuyo resultado es un texto html como el siguiente.



En dicho resultado se puede encontrar una serie de parámetros, siendo el más importante la coordenada geográfica. Otros parámetros de utilidad son Score (que entrega un indicador de 0 a 100 que refleja la calidad del “match” de la dirección entregada y la base de datos) y otros relacionados a la dirección

“normalizada” (en este caso "Calle Fidel Oteiza 1916, Divina Providencia, Providencia, Santiago, Metropolitana de Santiago, 7500000")

Es interesante notar que esta API es bastante tolerante a fallas en el nombre de calle. Por ejemplo, si se intentan distintas maneras de escribir el nombre de calle (F. Oteiza, Fidel O. Fidel Oteiza, etc.), regresa típicamente la misma coordenada (o una muy cercana), con un menor Score.

La API admite también buscar por intersecciones, como muestra el siguiente ejemplo en que la dirección está en formato CALLE/CALLE (Bolívar & Argentina, Antofagasta, Chile).

http://geocode.arcgis.com/arcgis/rest/services/World/GeocodeServer/find?text=BOLIVAR+%26+ARGENTINA,+ANTOFAGASTA,+CHILE&f=json&outFields=*

El resultado es equivalente al anterior, con la dirección normalizada "Calle Simón Bolívar & Avenida Argentina, Antofagasta, 1240000".

Identificada esta herramienta, se procedió a programar la consulta masiva, en la cual mediante un archivo de procesamiento en lote se invoca la API y se rescata los resultados en un archivo de texto, el cual es posteriormente procesado para obtener una cartografía.

Evidentemente, en el proceso aplicado a la base de datos real se encuentran fallas: direcciones que el sistema no localiza o que localiza mal. Para identificar esos casos se creó una serie de reglas para aceptar una coordenada como válida, tales como:

- Debe existir una dirección normalizada
- El país de la dirección normalizada debe ser Chile y la comuna debe ser la correspondiente
- El Score tiene que ser superior a 85

En los casos en que no se cumplían dichos criterios, se procedió a un trabajo de verificación manual de las direcciones con problema, el cual se basa en la revisión de distintos mapas digitales en línea (GoogleMaps, Waze, ArcGIS, dmapas) para encontrar en ellos la mejor localización. Aun después de este proceso, no es raro encontrar una cantidad de datos que no es posible localizar.

El proceso indicado previamente fue aplicado a las cuatro ciudades en estudio distintas a Santiago, pues para esta última Conaset puso a disposición del Consultor las bases de datos ya georeferenciadas.

El resultado de este proceso se indica en el siguiente cuadro resumen.

Tabla 4-9: Resultado de localización de accidentes

Ciudad	Situación	2008	2009	2010	2011	2012	Total
Antofagasta	Total	941	959	671	656	348	3.575
	Con información	907	933	632	649	343	3.464
	Localizado	854	887	609	602	314	3.266
	% Localizado	90,8%	92,5%	90,8%	91,8%	90,2%	91,4%
Punta Arenas	Total	410	475	476	488	234	2.083
	Con información	404	469	475	485	229	2.062
	Localizado	390	449	447	455	208	1.949
	% Localizado	95,1%	94,5%	93,9%	93,2%	88,9%	93,6%
Temuco	Total	836	827	919	895	917	4.394
	Con información	830	821	919	887	914	4.371
	Localizado	800	797	890	857	881	4.225
	% Localizado	95,7%	96,4%	96,8%	95,8%	96,1%	96,2%
Valparaíso	Total	1.874	1.823	1.785	1.742	1.767	8.991
	Con información	1.776	1.466	1.540	1.647	1.757	8.186
	Localizado	1.593	1.249	1.274	1.389	1.509	7.014
	% Localizado	85,0%	68,5%	71,4%	79,7%	85,4%	78,0%

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que, en general, se obtuvieron proporciones bastante elevadas de geolocalización, típicamente superiores al 90%. La excepción al caso la presenta Valparaíso, que se ubica en torno al 80%.

En el anexo digital de este informe se puede encontrar una carpeta denominada SIG, dentro de la cual se entregan archivos geográficos (TransCAD) por ciudad y año.

4.2.2 Mapas de siniestralidad

Una vez localizados los accidentes, fue posible representar gráficamente su localización, para lo cual se utilizó la herramienta de “Mapa de calor” o “Grilla de densidad” disponible en distintos programas de sistemas de información geográfica.

Con esta herramienta se divide el área de análisis en una grilla de tamaño configurable y luego considera que cada accidente aporta una cierta densidad de probabilidad a cada elemento de la grilla. Finalmente, a cada elemento de la grilla se le ha asignado una cierta cantidad de porciones de accidente, cuya suma permite identificar la densidad de accidentes para ese lugar en particular.

Un accidente, por tanto, aporta con un peso particular sobre la celda específica en que está localizado, pero también en las celdas aledañas, en las cuales el efecto es menor en función de la distancia a la que se encuentran. La forma con que decae el efecto en función de la distancia es mediante la función Quartic

(también conocida como biweight), la cual emula una normal pero que llega a cero superado un determinado radio definido por el usuario.

En el mapa de calor se asocia un color a cada celda, utilizando una escala de color en que ciertos colores (los más calientes) están asociados a los valores más altos, y otros (los más fríos) están asociados a los valores menores.

En las páginas siguientes se presenta los mapas de calor para las 5 ciudades en análisis, considerando la totalidad de los accidentes en el periodo de estudio. Para cada ciudad se ha generado dos mapas de calor: uno asociado a un nivel general (escala ciudad) y otro asociado a una escala más local, que permite un análisis más específico. En el caso particular de Santiago, se ha generado una tercera escala aún más general, para dar cuenta de una mirada de metrópolis.

Adicionalmente, se han generado mapas que, mediante el mismo método, destacan los sectores/lugares con mayor concentración de fallecidos.

En el anexo digital de este informe es posible encontrar los archivos geográficos asociados a cada una de las figuras de mapas de calor que se presentan en las páginas siguientes.

Figura 4-1: Mapa de calor de accidentes de Antofagasta, escala “ciudad”



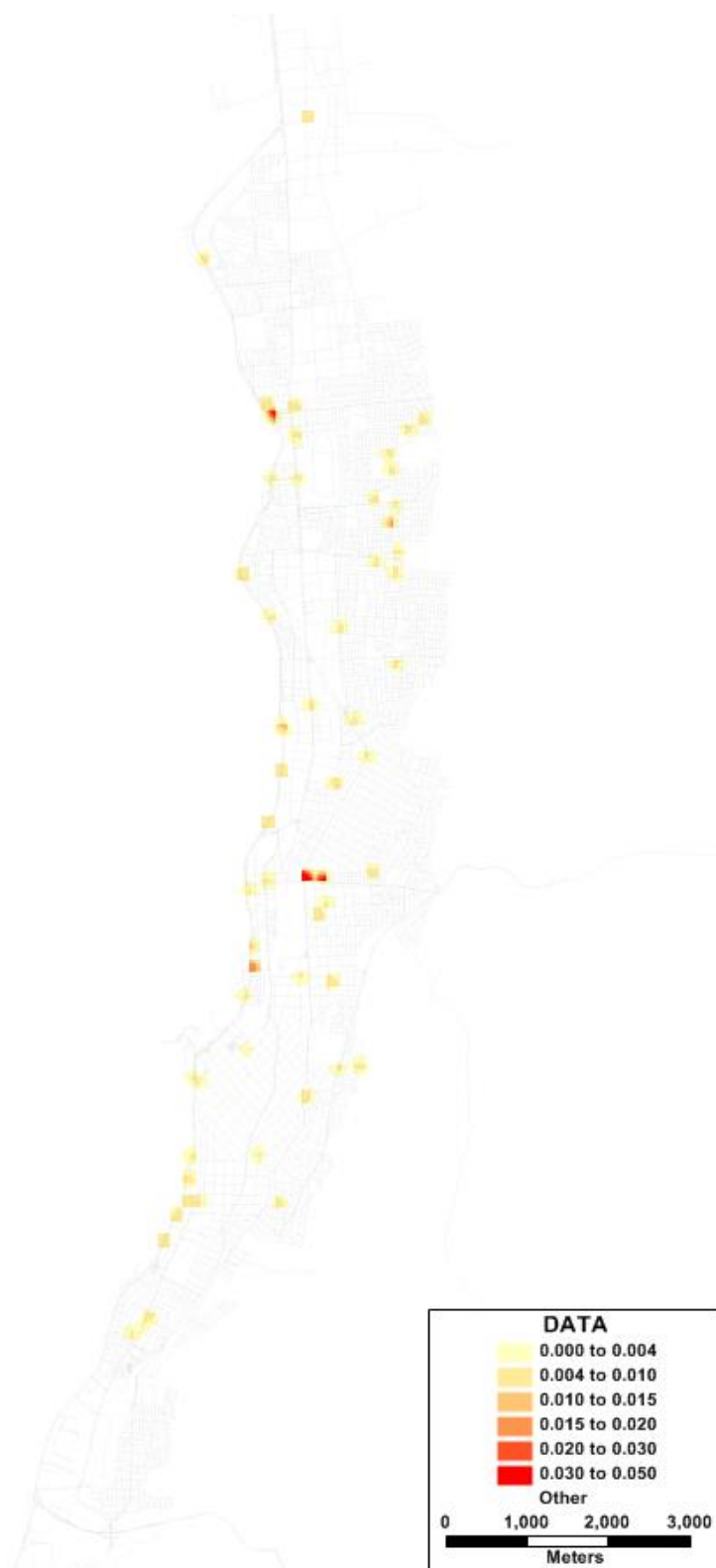
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-2: Mapa de calor de accidentes de Antofagasta, escala “sector”



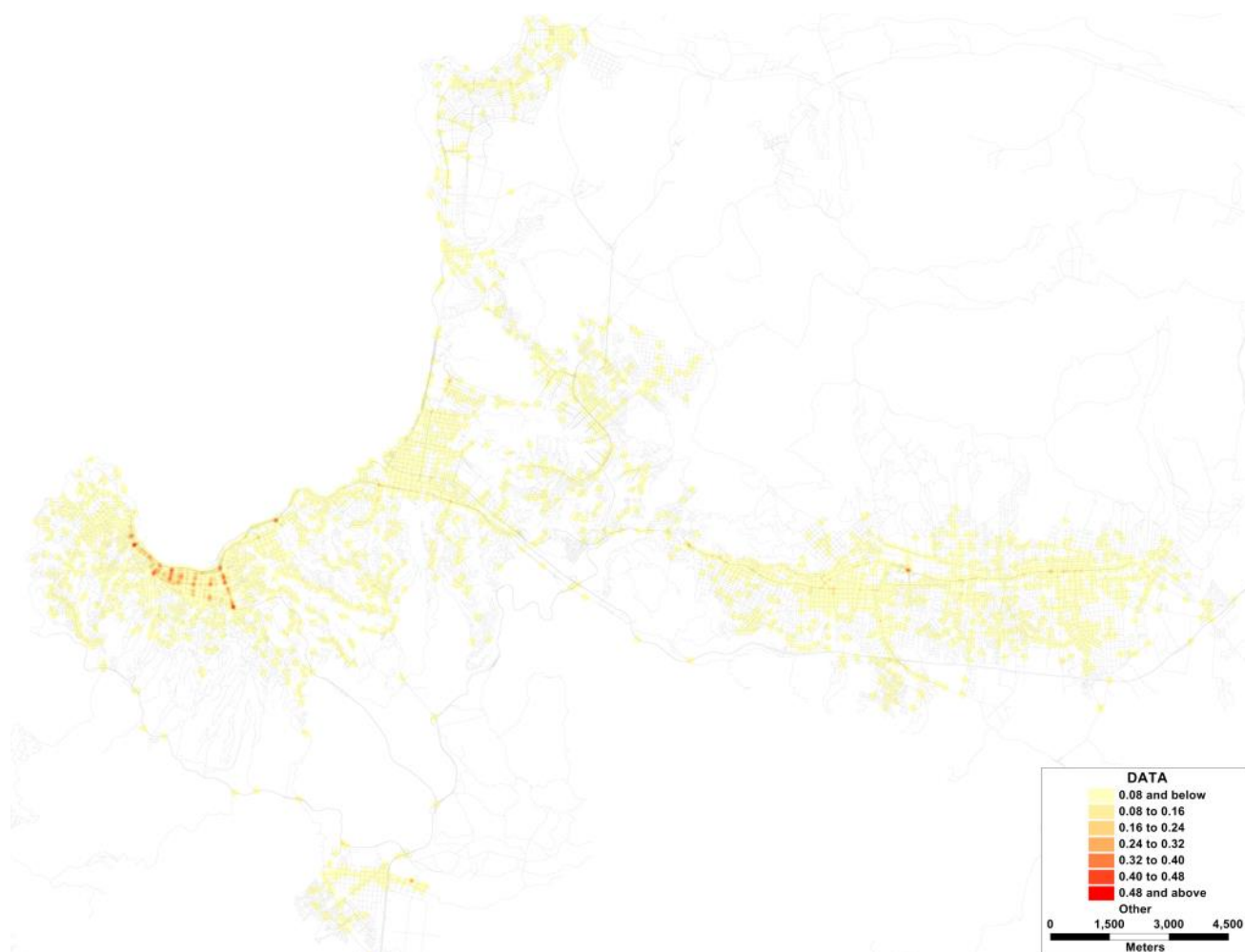
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-3: Mapa de calor de fallecidos de Antofagasta, escala “ciudad”



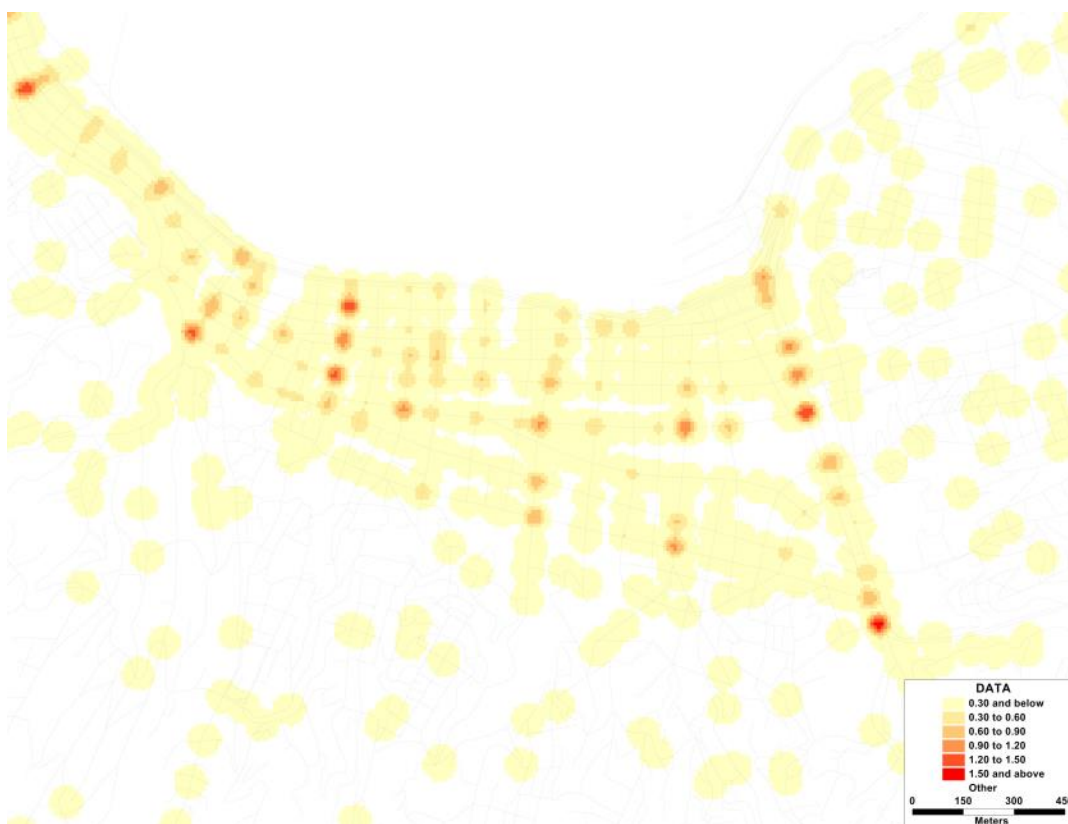
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-4: Mapa de calor de accidentes de Gran Valparaíso, escala “ciudad”



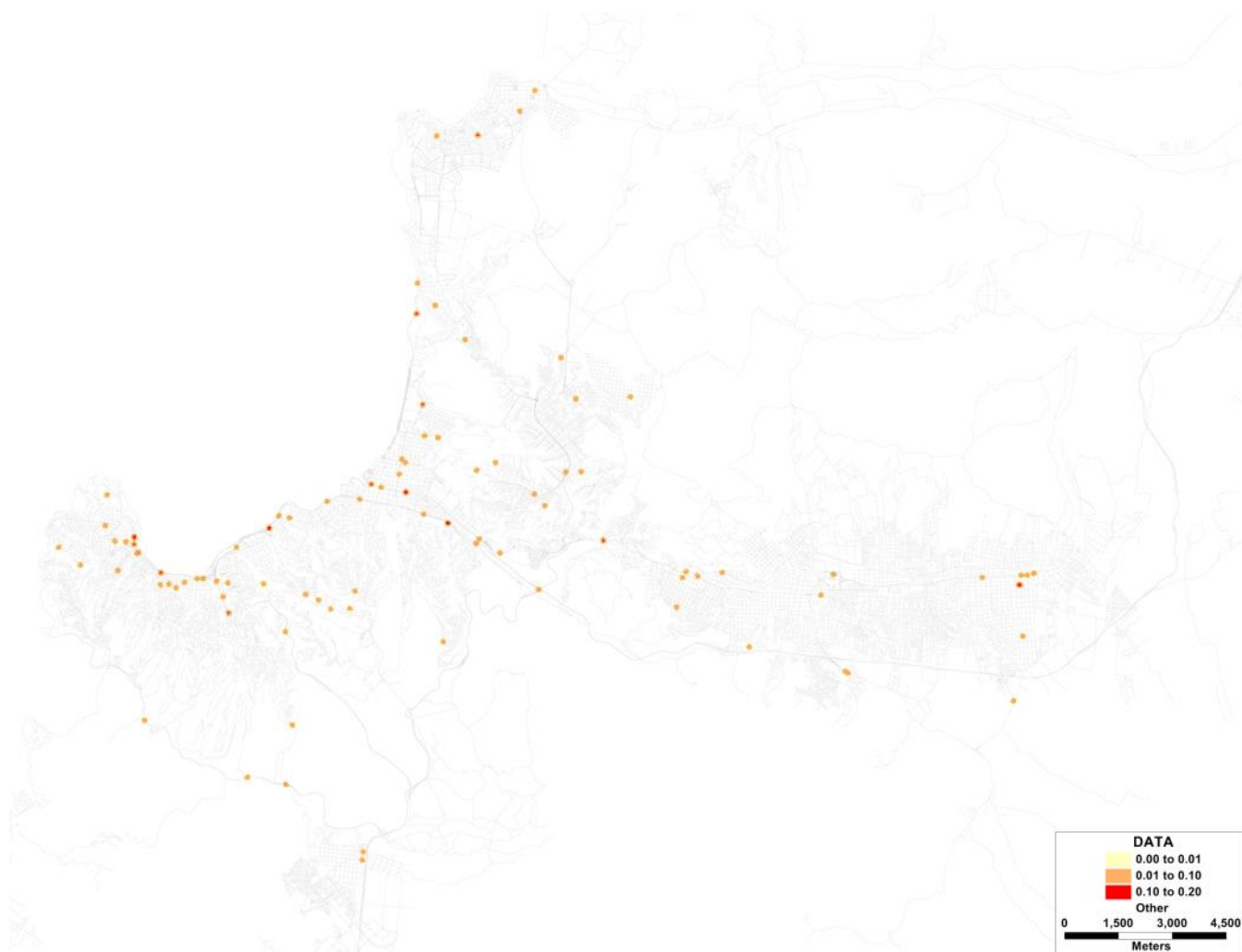
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-5: Mapa de calor de accidentes de Valparaíso, escala “sector”



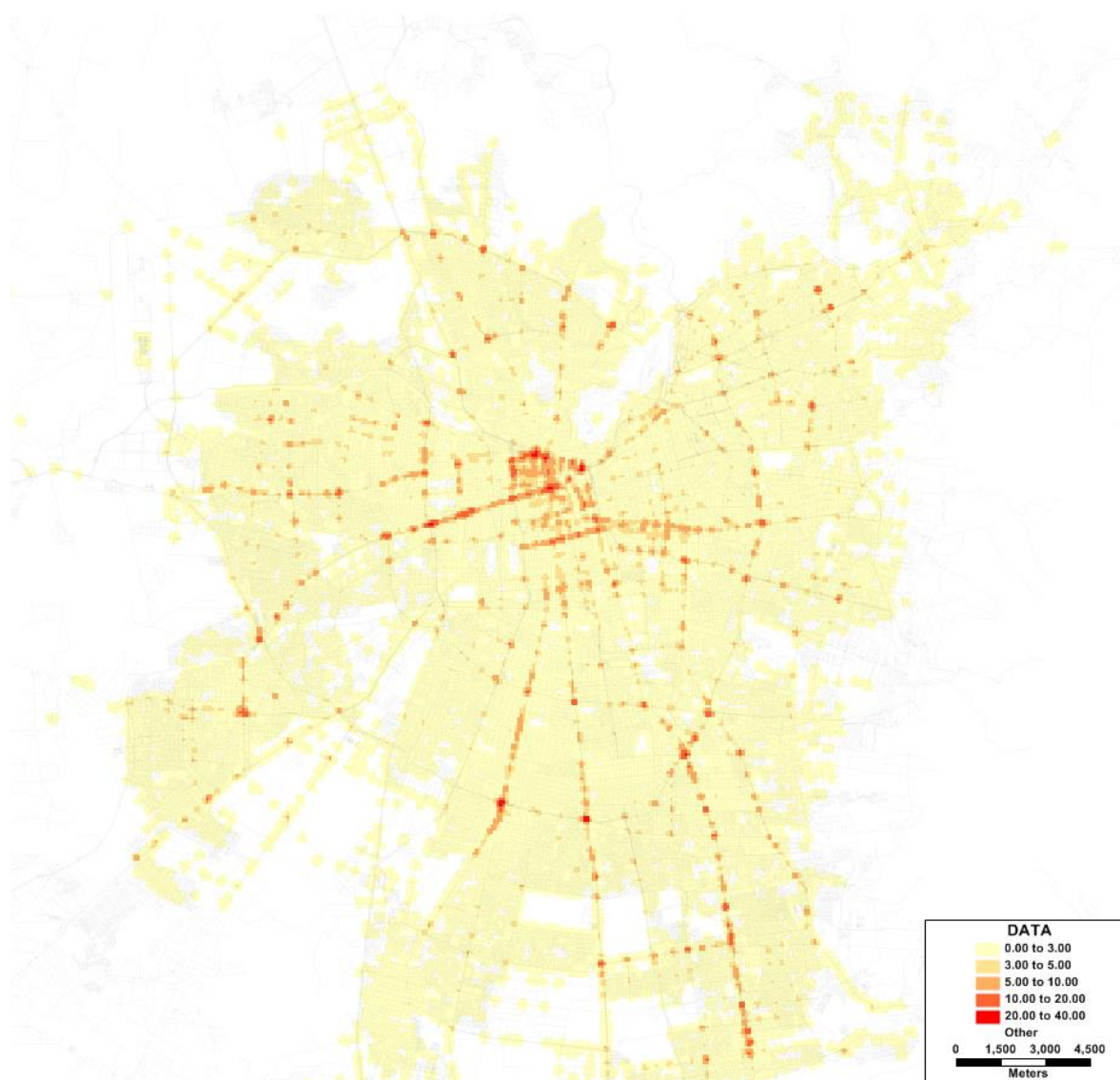
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-6: Mapa de calor de fallecidos de Valparaíso, escala “ciudad”



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-7: Mapa de calor de accidentes de Santiago, escala “metrópoli”



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-8: Mapa de calor de accidentes de Santiago, escala “sector”



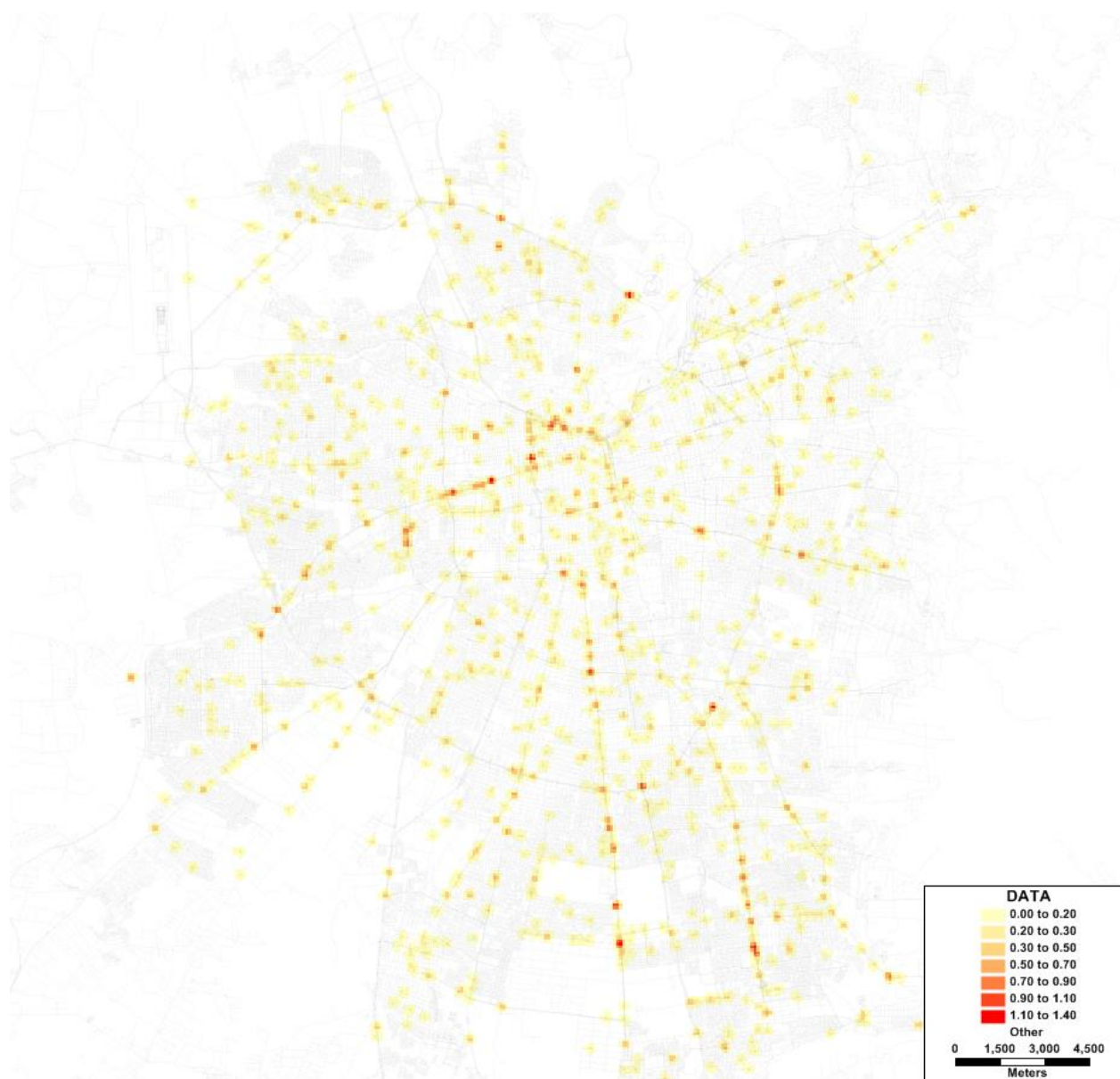
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-9: Mapa de calor de accidentes de Santiago, escala “sector”



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-10: Mapa de calor de fallecidos de Santiago, escala “metrópoli”



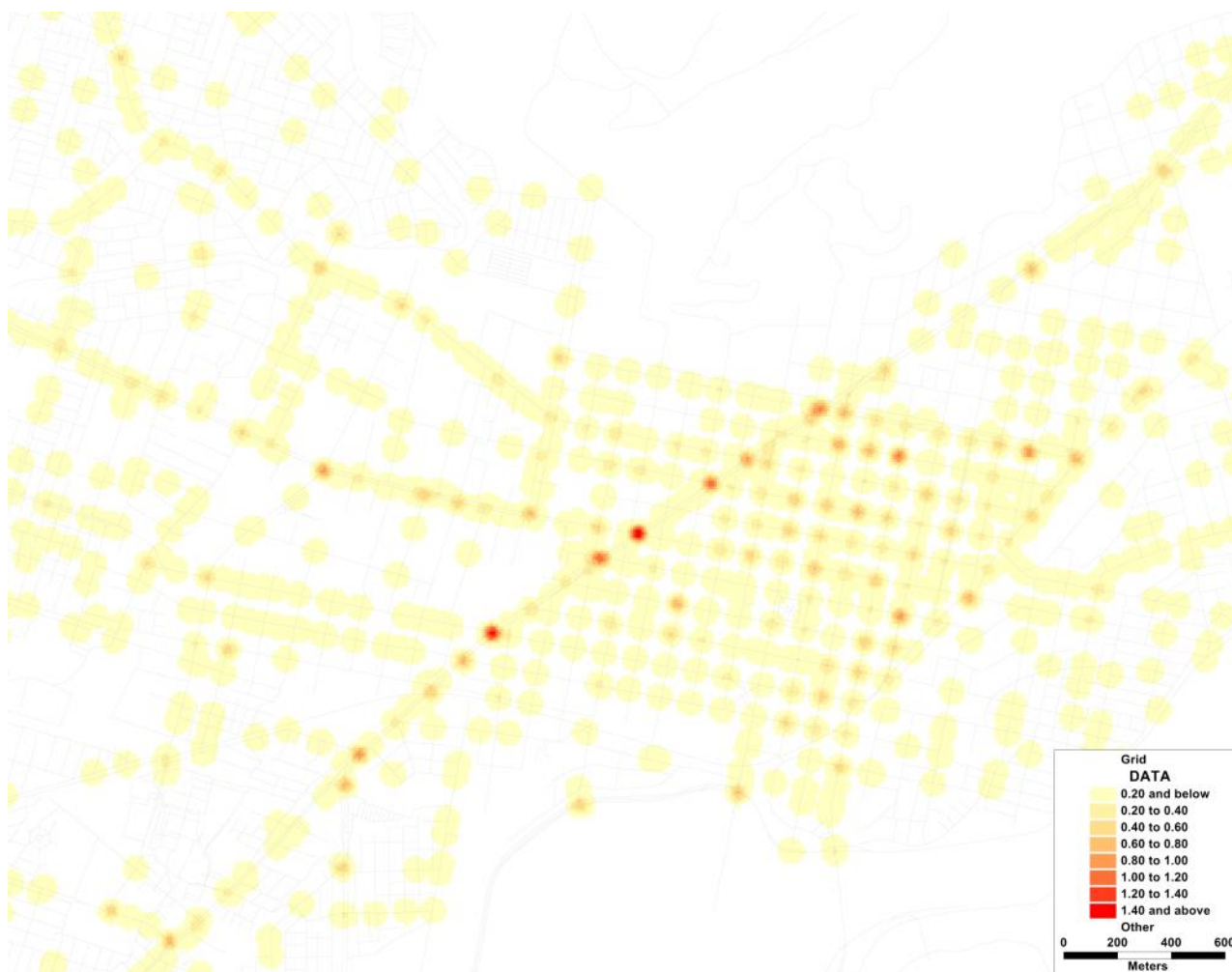
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-11: Mapa de calor de accidentes de Temuco, escala “ciudad”



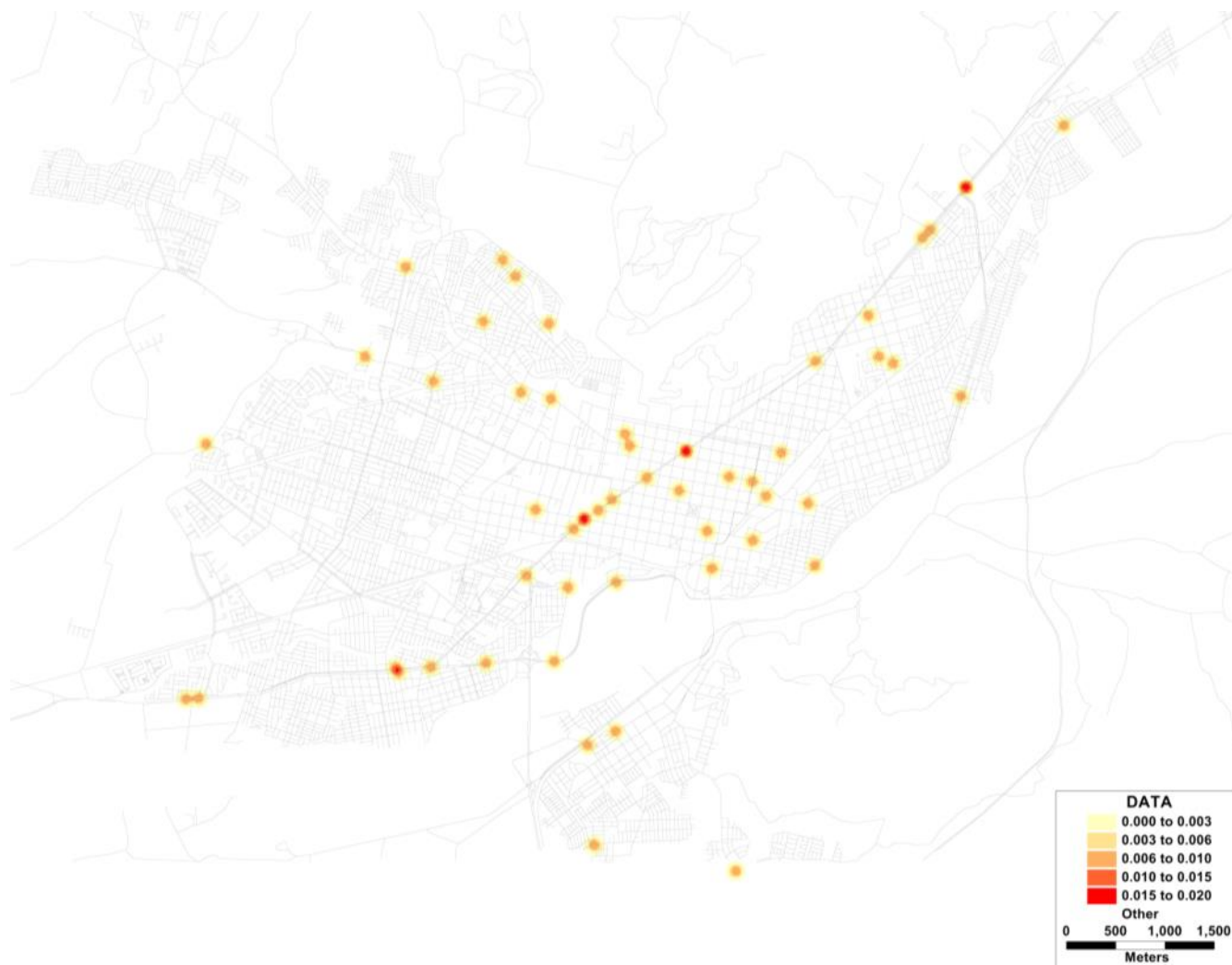
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-12: Mapa de calor de accidentes de Temuco, escala “sector”



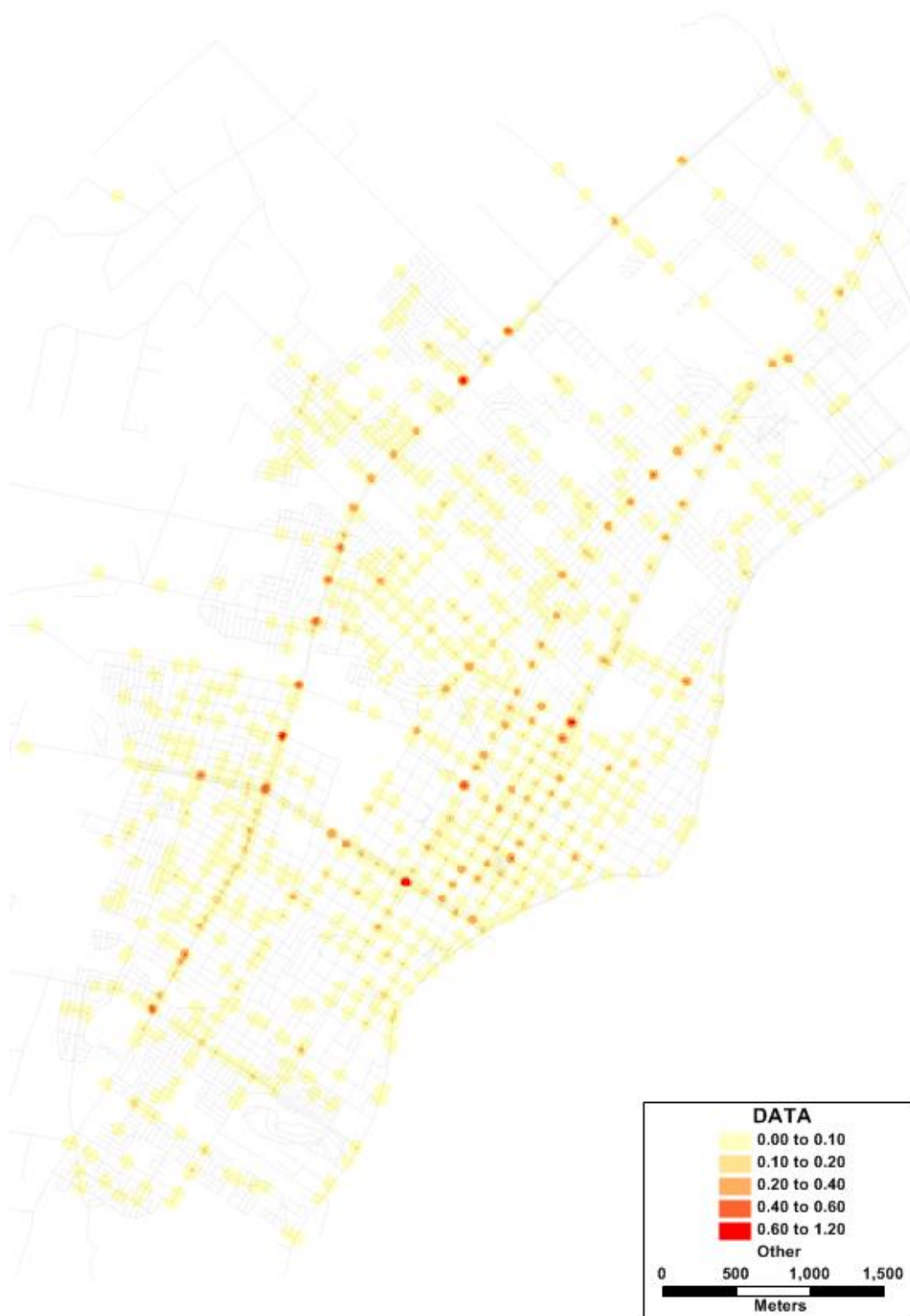
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-13: Mapa de calor de fallecidos de Temuco, escala “ciudad”



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-14: Mapa de calor de accidentes de Punta Arenas, escala “ciudad”



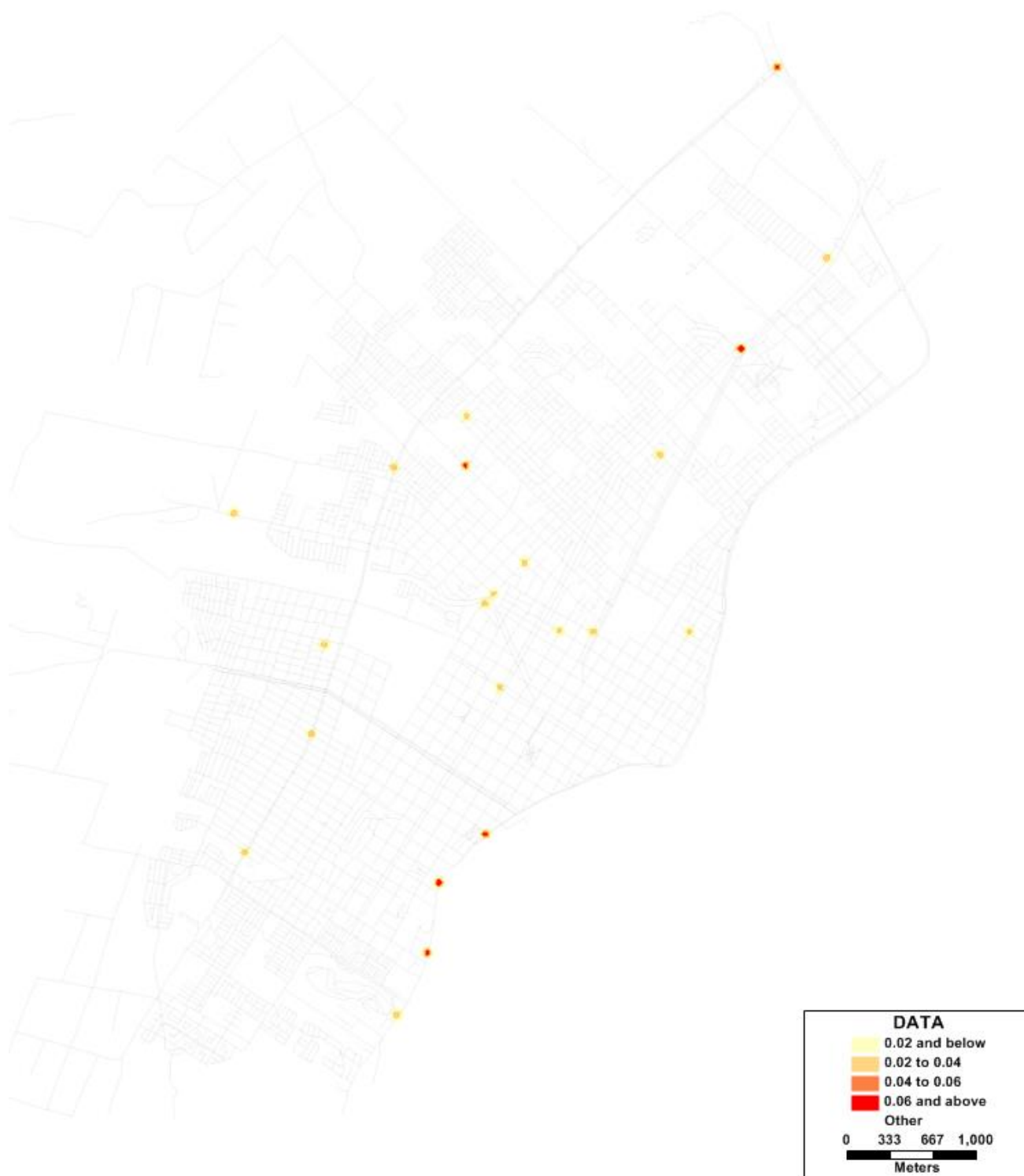
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-15: Mapa de calor de accidentes de Punta Arenas, escala “sector”



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-16: Mapa de calor de fallecidos de Punta Arenas, escala “ciudad”



Fuente: Elaboración propia

5 GENERACIÓN DE INFORMACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-OPERATIVAS DE LAS VÍAS

En este capítulo se reporta el proceso seguido para generar la descripción físico-operativa de las vías en las ciudades de interés. Como se explicó, se utilizó información recopilada como parte de estudios de transporte encargados por SECTRA.

5.1 Construcción de base de datos de características físico-operativas de las vías

A partir de la información recopilada en diversos estudios de transporte (ver sección 3.4) se generó una base de datos con las características físico-operativas de un conjunto de intersecciones o tramos de vía en cada una de las ciudades de interés. El proceso requirió revisar cada estudio y sus anexos digitales para extraer los datos de interés y disponerlos de manera ordenada y sistemática.

Cada base de datos generada por ciudad contiene dos tablas: lugares y accesos, con la siguiente estructura.

Figura 5-1 Estructura de las bases de datos de características físico-operativas

LUGARES		ACCESOS
ID_Lugar	↔	ID_Lugar
ID_Original		ID_Acceso
Ciudad		ID_Eje
Comuna		Year
Tipo		Calle
Nombre		Direccion
Entorno		Sentido
Regulación		Prioritario
Lat		Pistas_Totales
Long		Pistas_Acceso
F_P1		Longitud
F_P2		Mediana
F_P3		Pistas_Viraje
F_P4		Isla_Central
F_P5		TMDA_liv_P1
F_P6		TMDA_liv_P2
F_P7		TMDA_liv_P3
F_P8		TMDA_liv_P4
		TMDA_liv_P5
		TMDA_liv_P6
		TMDA_liv_P7
		TMDA_liv_P8
		TMDA_pes_P1
		TMDA_pes_P2
		TMDA_pes_P3
		TMDA_pes_P4
		TMDA_pes_P5
		TMDA_pes_P6
		TMDA_pes_P7
		TMDA_pes_P8

Fuente: Elaboración propia

La generación de las bases de datos requirió un intenso proceso de revisión manual de la información contenida en los informes y anexos digitales. Cada lugar analizado (intersección o tramo) fue además localizado mediante sus coordenadas geográficas aproximadas. Como se explica más adelante, la localización fue utilizada para establecer el vínculo entre lugares y accidentes en cada año.

La descripción de las variables de la tabla “lugares” es la que se muestra en la Tabla 5-1. Cada “lugar” debe entenderse como una intersección o un tramo o

segmento de vía que dispone de datos de flujos y características físico-operativas.

Tabla 5-1: Descripción de variables en tabla “lugares”

Variable	Descripción
ID_Lugar	Identificador del lugar en el presente estudio.
ID_Original	Identificador del lugar en el estudio en que se recogió la información (permitió revisar la fuente original de la información en caso de dudas).
Ciudad	Nombre de la ciudad donde se localiza el lugar analizado.
Comuna	Nombre de la comuna donde se localiza el lugar analizado.
Tipo de lugar	Especifica si se trata de un tramo de vía o un determinado tipo de intersección (ver Tabla 5-3).
Nombre	Nombre de calle del tramo o nombres de calles que llegan a la intersección.
Entorno	Indica si el lugar se encuentra en el área céntrica de la ciudad o en áreas de concentración de comercio o servicios fuera del área céntrica donde se produce concentración de peatones y vehículos, o bien en zonas periféricas (residenciales principalmente).
Regulación	Tipo de regulación de la intersección (ver Tabla 5-3).
Lat	Latitud geográfica del lugar. En el caso de tramos corresponde al punto medio del tramo.
Long	Longitud geográfica del lugar. En el caso de tramos corresponde al punto medio del tramo.
F_PX	Factor de expansión del flujo vehicular del período X.

Fuente: Elaboración propia

La descripción de las variables de la tabla “lugares” es la que se muestra en la Tabla 5-2. Cada “acceso” está asociado a una intersección o un tramo o segmento de vía que dispone de datos de flujos y características físico-operativas.

Tabla 5-2: Descripción de variables en tabla “accesos”

Variable	Descripción
ID_Lugar	Identificador del lugar en el presente estudio.
ID_Acceso	Identificador del acceso.
ID_Eje	Identificador del eje al que pertenece el acceso.
Year	Año en que se registró la información de flujos y características físico-operativas.
Calle	Nombre de la calle donde se ubica el acceso.
Direccion	Dirección del eje al que pertenece el acceso (ver Tabla 5-3).
Sentido	Sentido de circulación de los vehículos en el acceso (ver Tabla 5-3).
Prioritario	Indica si el acceso es prioritario o secundario con respecto al derecho de paso.
Pistas_Totales	Número de pistas que en total tiene el acceso, no distingue sentido de circulación.
Pistas_Acceso	Número de pistas del acceso que llegan a la intersección o número de pistas del tramo en el sentido de circulación definido en la variable “sentido”.
Longitud	Longitud de tramo de vía definido. Vale 0 para intersecciones.
Mediana	Vale 1 si existe una mediana en el eje al que pertenece el acceso y 0 en caso contrario.
Pistas_Viraje	Vale 1 si existen pistas de viraje (a la izquierda o derecha) en el acceso.

Variable	Descripción
Isla_Central	Vale 1 si existen pistas de viraje (a la izquierda o derecha) en el acceso.
TMDA_liv_PX	TMDA asociado a vehículos livianos en el período X. La suma sobre todos los períodos genera el TMDA de vehículos livianos.
TMDA_pes_PX	TMDA asociado a vehículos pesados en el período X. La suma sobre todos los períodos genera el TMDA de vehículos livianos.

Fuente: Elaboración propia

Algunas de las variables de las tablas “lugares” y “accesos” admiten un conjunto limitado de valores, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5-3: Valores admitidos para ciertas variables

Tipos de lugar	Entorno	Regulación	Dirección	Acceso	Eje	Dirección	Sentido
Tramo	Céntrico	Semaforizada	S-O	1	1	N-S	S
T	Periférico	Ceda el paso	N-S	2	2	O-P	P
Cruz		Pare	NO-SP	3	1	N-S	N
Y		Sin regulación	SO-NP	4	2	O-P	O
Otros							

Fuente: Elaboración propia

Las bases de datos generadas se entregan en anexo digital.

5.2 Estimación de TMDA y procedimiento de actualización

5.2.1 Estimación de TMDA

De acuerdo con la literatura especializada revisada (ver sección 1.7), el flujo vehicular, expresado como TMDA, es la principal variable explicativa en los MPA en uso actualmente en otros países. En función de esto, se procedió a reunir información de flujos vehiculares medidos en las ciudades de interés. La información recopilada correspondió a mediciones continuas y periódicas realizadas como parte de estudios de transporte encargados por SECTRA, como se describió en la sección 3.4.

Los datos fueron procesados para estimar el TMDA de las intersecciones o tramos de vía, según corresponda al lugar donde se realizó la medición.

Esta forma de estimar el TMDA se consideró como la más adecuada pues utiliza solamente información observada (medida en terreno). Como se explica más adelante, el TMDA estimado para un cierto lugar y en un cierto año se asoció a los accidentes que ocurrieron en ese mismo lugar en ese año. De esta manera se buscó generar un razonable nivel de correspondencia temporal entre la accidentabilidad y las características físico-operativas de los lugares en estudio.

El procedimiento utilizado fue el siguiente:

- Sistematización de los datos: se generó una base de datos por ciudad con la información del lugar, fecha, y los datos de flujos por tipo de vehículo (veh/h) y período. Los datos fueron agregados a nivel de accesos o sentidos de la intersección o tramo de vía, respectivamente.
- Cálculo de factores de expansión: a partir de los datos de las mediciones continuas disponibles en cada estudio revisado, se calcularon los respectivos factores de expansión de cada período de medición. El factor de expansión es la suma de las horas equivalentes contenidas en la semana tipo respectiva. Las horas equivalentes corresponden a la suma de los cuartos de hora equivalentes de la semana tipo dividida por 4. Un cuarto de equivalente es el cociente del flujo en un cuarto de hora cualquiera y el flujo en el cuarto de hora promedio de la hora de medición de un cierto período. Previamente, se requirió asociar cada hora de la semana a uno de los períodos de medición. Como resultado de este proceso se obtuvieron los factores de expansión de cada período.
- Estimación de TMDA: al multiplicar los flujos periódicos por los factores de expansión correspondientes se generó la estimación del TMDA.

Los valores de TMDA a nivel de accesos fueron posteriormente agrupados para generar el TMDA del eje principal y el eje secundario de la intersección o bien el TMDA del tramo correspondiente. En intersecciones con señal de prioridad, el eje secundario es aquel donde los conductores enfrentan la señal PARE o CEDA EL PASO, en intersecciones semaforizadas, el eje secundario es aquel con menor flujo vehicular al considerar los flujos de los distintos períodos de medición.

Los valores resultantes del TMDA se incorporaron a la base de datos del estudio, como se explica en la siguiente sección.

5.2.2 Procedimiento de actualización del TMDA

El TMDA es una de las principales variables explicativas de los MPA y se requiere para aplicar las tasas de accidentabilidad que se describen en el Capítulo 6. El procedimiento utilizado en el desarrollo de esas tasas y MPA se basó en el uso de información medida en terreno y, por lo mismo, se requiere que la actualización de esas tasas y modelos requiere repetir el procedimiento de recopilación y procesamiento de datos de accidentabilidad y características físico-operativas de los lugares.

6 DEFINICIÓN DE PROCEDIMIENTO DE ACTUALIZACIÓN DE BASE DE DATOS

La base de datos construida como parte de la tarea anterior debe ser actualizada permanentemente para permitir una recalibración de los MPA y la distribución de los accidentes según su gravedad.

6.1 Fuentes de información a consultar

La información necesaria para actualizar la base de datos de accidentes y características físico-operativas debe considerar los datos recogidos en estudios de transporte encargados por SECTRA, MOP y otras instituciones. Esta información es la más compleja de recopilar pues es manejada por distintas instituciones y sin un formato común. Se requieren los datos de flujos vehiculares y los catastros físico operativos que contengan al menos las variables descritas en las Tabla 5-1 y Tabla 5-2.

Se asume que la información de accidentes del sistema SIEC-2 o el que lo remplace estará disponible tal como ocurre en la actualidad y, por lo tanto, es sencilla su recopilación.

6.2 Temporalidad de la actualización

Se recomienda que la actualización de la base de datos se realice cada año, siguiendo el patrón de actualización de la base de accidentes SIEC-2.

Esto significa que cada año se debería recopilar la información de los estudios de transporte finalizados en ese período. Se debe registrar la fecha de las mediciones y catastros para asociar esos datos a los accidentes del mismo año. Esto es importante porque los estudios de base se realizan habitualmente al inicio de los estudios de transporte y estos pueden finalizar varios años después.

6.3 Método de levantamiento de información de terreno

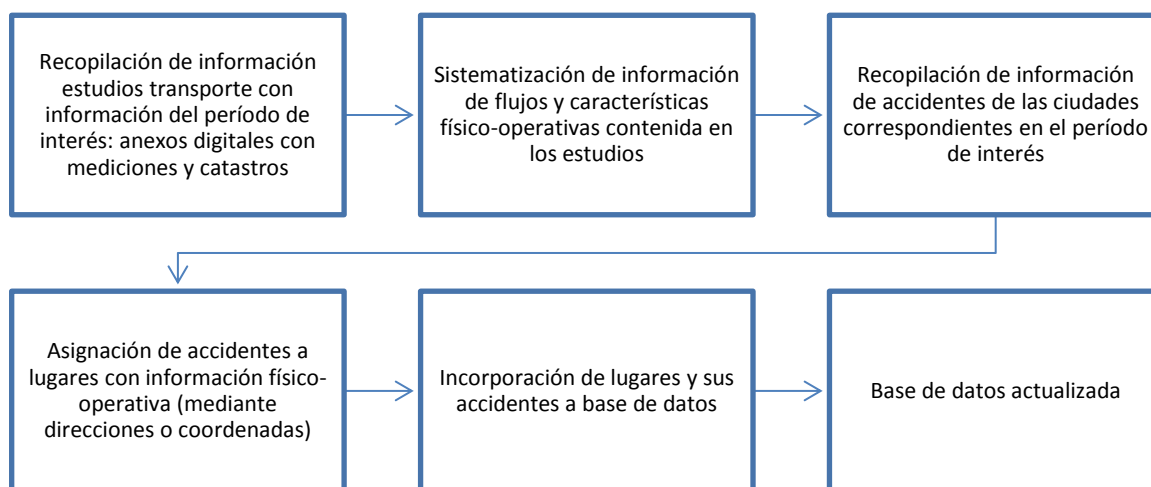
Es posible considerar también el levantamiento de información físico-operativa con el objeto de actualizar la base de datos de características físico-operativas. Ese levantamiento es sencillo pues las variables físicas de interés corresponden a características observables a simple vista. Las mediciones de flujo deben considerar preferentemente una medición continua en día laboral, sábado y domingo de una semana representativa: el objetivo es lograr una adecuada estimación del TMDA.

Existe suficiente experiencia en la recopilación de este tipo de información y por lo tanto no se requiere definir un procedimiento especial.

6.4 Flujograma con interrelación de actividades

El proceso de actualización de la base de datos se puede esquematizar mediante el siguiente flujograma considerando un cierto período de anual de interés.

Figura 6-1: Flujograma del proceso de actualización de la base de datos de características físico-operativas



Fuente: Elaboración propia

El proceso de actualización de la base de datos debe estar a cargo de CONASET, pero requiere una coordinación con SECTRA y MOP para tener acceso a los estudios de transporte realizados.

Es importante mencionar que es posible incorporar otras ciudades a la base de datos pues los MPA construidos no están diferenciados por ciudad. Esto permite enriquecer la base con datos de otras grandes ciudades o ciudades de menor tamaño.

7 ESTIMACIÓN DE TASAS PROMEDIO Y MODELOS ECONOMETRICOS DE ACCIDENTES EN VIALIDAD URBANA

La estimación de tasas promedio de accidentabilidad y MPA se realizó utilizando la información descrita en las secciones 3.2 y 5.1. Ambas fuentes de información se refieren a un conjunto de lugares distribuidos en el área urbana de las ciudades de interés. En enfoque utilizado para integrar esa información fue tomar como referencia los sitios con información físico-operativa y luego identificar los accidentes que ocurrieron en esos lugares.

Un aspecto de gran importancia en el procesamiento de la información fue que la relación entre lugares y accidentes se hizo por año, como una forma de lograr un nivel razonable de simultaneidad en los datos que se utilizaron para estimar las tasas y los parámetros de los MPA.

7.1 Generación de base de datos de accidentes y características físico-operativas

La generación de la base de datos de accidentes y características físico-operativas se realizó uniendo las bases de datos de accidentes y de características físico-operativas utilizando la localización (coordenadas geográficas) de dichos accidentes y lugares.

Para intersecciones el procedimiento utilizado fue el siguiente.

1. El proceso se inició identificando, para cada accidente de la base de datos descrita en la sección 3.2 el lugar más cercano de la base de datos mencionado en la sección 5.1, en el año en que ocurrió ese accidente. Se consignó además la distancia euclidiana entre el accidente y el lugar señalado como el más cercano.
2. A continuación, se definió para cada accidente un indicador preliminar de pareo al que se asignó valor 1 si la distancia euclidiana al lugar más cercano era menor o igual a 25 m. La distancia se calculó con el SIG utilizando las coordenadas de los accidentes y los lugares.
3. Luego, se realizó un proceso manual de revisión del pareo de accidentes y lugares revisando que los nombres de las calles involucradas en ambas fuentes de información coincidieran, ignorando diferencias en la escritura de los nombres tales como Libertador y Lib. o Avenida y Av. Se revisó también que el accidente estuviese registrado como un accidente producido en una intersección. Como resultado de esta revisión manual se generó un indicador definitivo de pareo, que toma valor 1 cuando se cumplen todas las condiciones mencionadas y 0 en caso contrario.

Para tramos de vía el procedimiento fue similar al de intersecciones, con la diferencia que la distancia euclidiana considerada fue la mitad de la longitud del tramo con una tolerancia de 10%. De esta manera se buscó incluir los accidentes ocurridos dentro de la “cuadra” que representa el tramo. Después se revisó manualmente que el nombre del eje en la información del accidente y del tramo coincidiera, también ignorando diferencias de escritura de esos nombres.

El resultado del proceso de pareo de accidentes y lugares permitió generar un listado de accidentes con una intersección o un tramo de vía asignado porque se cumplieron las condiciones impuestas. Una parte considerable de los accidentes no pudo parearse pues ocurrieron en lugares sin información físico-operativa, pero esto no afectó la estimación de tasas y MPA porque la unidad de referencia en ese proceso fueron los lugares y no los accidentes.

En efecto, terminado el proceso descrito se procedió a asignar a cada lugar (localización y año) de la base mencionada en 5.1 el número de accidentes ocurridos allí: suma de los accidentes que fueron pareados con ese lugar. Una parte de los lugares (56%) resultó sin accidentes, lo que era esperable y además deseable para que el proceso de cálculo de las tasas y estimación de los MPA no estuviese sesgado, como se mencionó en la sección 1.6. Previamente, se revisó la consistencia de los datos y su completitud, producto de lo cual se eliminaron algunas observaciones.

La base de datos generada con los accidentes asignados a cada lugar y sus características físico-operativas se entrega en anexo digital y cuenta con 839 observaciones (lugares) en el caso de intersecciones. Esta base de datos fue la utilizada para estimar las tasas promedio de accidentabilidad y los MPA, como se explica en las siguientes secciones.

Las siguientes tablas muestran algunos indicadores de la base de datos generada según la cantidad de fallecidos y heridos.

Tabla 7-1: Distribución de observaciones según ciudad y número de fallecidos: caso intersecciones

Ciudad	Número de fallecidos			Total
	0	1	2	
Antofagasta	118	4	0	122
Valparaíso	275	3	0	278
Santiago	244	6	7	257
Temuco	82	1	0	83
Punta Arenas	98	1	0	99
Total	817	15	7	839

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-2: Distribución de observaciones según ciudad y número de heridos: caso intersecciones

Ciudad	Número de heridos				Total
	0	1	2	3 o más	
Antofagasta	80	28	6	8	122
Valparaíso	164	45	24	45	278
Santiago	144	34	26	53	257
Temuco	28	22	12	21	83
Punta Arenas	44	26	14	15	99
Total	460	155	82	142	839

Fuente: Elaboración propia

En el caso de los fallecidos, se observa que la muestra generada tiene una proporción baja de accidentes con fallecidos (menos del 3%). Esto significa que con dicha muestra no es posible generar modelos desagregados por gravedad de los accidentes pues no se tienen suficientes datos. Para establecer esa desagregación se utilizará la distribución observada de los eventos, tal como se hace en el HSM de la FWHA de E.E.U.U. Es importante señalar que en las ciudades analizadas durante el período 2008-2011 el porcentaje de accidentes con fallecidos varía por ciudad entre 1% y 3%, ver Tabla 7-26, por lo tanto no existe sesgo en la muestra.

La siguiente tabla muestra la distribución de las observaciones según distintas características físicas de las intersecciones. En general, se observa que para cada característica se tiene una cantidad adecuada de datos con y sin cada característica, a excepción de la presencia de pistas de viraje. En ese caso, los MPA generados mostraron que el efecto de esa característica no puede ser estimado con suficiente certeza, ver sección 7.3.

Tabla 7-3: Distribución de observaciones según características físicas de las intersecciones

Ciudad	Entorno céntrico		Tipo T		Tipo Cruz		Semaforizada		Mediana		Pistas viraje		Isla central	
	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí
Antofagasta	89	33	72	50	50	72	58	64	60	62	107	15	120	2
Valparaíso	90	188	212	66	92	186	184	94	236	42	258	20	259	19
Santiago	249	8	195	62	106	151	135	122	153	104	227	30	201	56
Temuco	40	43	63	20	31	52	3	80	53	30	78	5	78	5
Punta Arenas	23	76	96	3	7	92	45	54	60	39	96	3	60	39
Total	491	348	638	201	286	553	425	414	562	277	766	73	718	121

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-4: Distribución de observaciones según características físicas de los tramos

Ciudad	Longitud promedio (km)	Mediana		Pistas viraje		Isla central	
		No	Sí	No	Sí	No	Sí
Antofagasta	0,228	70	26	96	0	96	0
Santiago	0,468	544	326	867	3	862	8
Punta Arenas	0,238	14	23	34	3	15	22

Fuente: Elaboración propia

7.2 Estimación de tasas de accidentabilidad

Utilizando la base de datos de lugares y accidentes se calcularon tasas promedio de accidentabilidad. Dado que la información generada se refiere mayoritariamente a intersecciones, las tasas se calcularon en unidades de accidentes por vehículo y no por unidad de vehículo-kilómetro como se hace en el caso de tramos de vía.

La tabla siguiente muestra a modo de referencia las tasas promedio por ciudad y tipo de intersección. Siguiendo la experiencia internacional, las tasas se expresaron en accidentes por año cada millón de vehículos que ingresan a la intersección (MVI).

Tabla 7-5: Tasas de accidentabilidad por ciudad y tipo de intersección (acc año/MVI)

Ciudad	No semaforizadas		Semaforizadas		Total	
	Tasa	Nº Obs.	Tasa	Nº Obs.	Tasa	Nº Obs.
Antofagasta	0,045	58	0,108	64	0,087	122
Valparaíso	0,202	184	0,130	94	0,167	278
Santiago	0,164	135	0,281	122	0,245	257
Temuco	0,437	3	0,237	80	0,241	83
Punta Arenas	0,218	48	0,233	55	0,228	103
Total	0,172	428	0,205	415	0,194	843

Fuente: Elaboración propia

En términos generales las intersecciones semaforizadas presentaron una tasa de accidentabilidad mayor que las intersecciones no semaforizadas. Esta situación se explica porque en las primeras se observan flujos más altos (por eso están semaforizadas) y situaciones con más conflictos pues generalmente se trata de intersecciones de mayor tamaño, con presencia importante de peatones, transporte público, etc. Sin embargo, esto no se debe interpretar como que la semaforización aumenta los accidentes pues los datos utilizados no se refieren a intersecciones que no estaban semaforizadas y luego se semaforizaron sino que a diversas intersecciones, algunas semaforizadas y otras no semaforizadas. La experiencia internacional reportada indica que la semaforización de una intersección disminuye los accidentes más graves que se producen en intersecciones no semaforizadas; ese es uno de los criterios de justificación de semáforos del Capítulo 4 del Manual de Señalización de Tránsito del MTT.

Es importante también el resultado global, que indica una tasa de aproximadamente 0,2 accidentes al año cada MVI en las ciudades analizadas. Este valor es similar al reportado en el estado de New York³.

³ "Average accident rates for state highways by facility type". New York State Department of Transportation, <https://www.dot.ny.gov/divisions/operating/osss/highway/>

Por otro lado, los datos de la Tabla 7-5 muestran que Antofagasta presenta una tasa promedio que aproximadamente 55% más baja que el promedio de las 5 áreas analizadas. Por el contrario, si bien se destaca la alta tasa para intersecciones no semaforizadas en Temuco, ese valor está asociado a 3 observaciones (lugares) y en consecuencia no tiene validez estadística. La baja tasa en Antofagasta para intersecciones no semaforizadas está asociada a 58 observaciones y, por lo tanto, se estima que es un valor confiable. En intersecciones semaforizadas se observa una menor dispersión de los valores entre ciudades, en todos los casos se contó con una cantidad razonable de datos.

Las siguientes tablas muestran las tasas calculadas para intersecciones de prioridad y semaforizadas según si cuentan o no con mediana, pistas de viraje o isla central (para peatones).

Tabla 7-6: Tasas de accidentabilidad (acc año/MVI)-Intersecciones no semaforizadas

Características	Existe			
	No	Nº Obs.	Sí	Nº Obs.
Mediana	0,199	330	0,158	98
Pista viraje	0,176	405	0,168	23
Isla central	0,164	377	0,177	51

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-7: Tasas de accidentabilidad (acc año/MVI)-Intersecciones semaforizadas

Características	Existe			
	No	Nº Obs.	Sí	Nº Obs.
Mediana	0,181	233	0,212	182
Pista viraje	0,207	365	0,204	50
Isla central	0,209	342	0,203	73

Fuente: Elaboración propia

Es necesario que se considere que no parece recomendable el uso de tasas por unidad de flujo para predecir accidentes en intersecciones pues el riesgo de accidentes es distinto según la distribución del flujo entre la vía prioritaria y la secundaria. En principio sería necesario construir matrices de tasas, pero no se cuenta con una muestra suficientemente grande. En este sentido cobran importancia los MPA que se describen a continuación ya que explícitamente capturan el efecto de esa distribución del flujo.

7.3 Estimación de modelos econométricos

A partir de la revisión de la literatura especializada (ver sección 1.7) se procedió a estimar MPA para estimar la accidentabilidad en las intersecciones con la siguiente especificación para el caso de intersecciones:

$$acc = \alpha q_p^\kappa q_s^\eta e^{\sum_i \gamma_i x_i}$$

y la siguiente para tramos de vías:

$$acc = \sigma L^\theta q^\rho e^{\sum_i \tau_i x_i}$$

Donde

- acc : es el número esperado de accidentes por año.
- q_p, q_s, q : son el TMDA en la vía prioritaria, secundaria o del tramo, respectivamente, expresados en miles de veh/h.
- L : es la longitud del tramo de vía, expresada en kilómetros.
- x_i : son variables físico-operativas o factores de riesgo que describen la intersección.
- $\alpha, \kappa, \eta, \gamma_i, \sigma, \theta, \rho, \tau_i$: son parámetros a estimar. En particular, los exponentes de los flujos representan la elasticidad del número de accidentes con respecto al flujo vehicular prioritario, secundario o del tramo.

Las siguientes secciones se muestran los resultados de la estimación de los parámetros, incluyendo el factor de sobredispersión asociado al supuesto de una distribución binomial negativa de los datos de accidentes.

En cada caso se indican distintos estadígrafos que permiten analizar la calidad de los modelos.

- Estadígrafo Z: es análogo al indicador *t-student*. Tiene una distribución normal bajo la hipótesis que el parámetro respectivo es cero.
- Probabilidad: es la probabilidad que el parámetro estimado sea igual a cero. La probabilidad es baja si el estadígrafo Z es mayor a 1,96.
- Criterio de información Akaike: es una medida de la calidad relativa de un modelo en relación con su complejidad (número de parámetros del modelo) y su ajuste. En general, se deben preferir modelos con menor valor Akaike. Su valor se calcula como: $AIC = -2(l/T) + 2(k/T)$ donde l es el logaritmo de la función de verosimilitud con los k parámetros estimados y utilizando T observaciones.
- Promedio de log verosimilitud: es el promedio del logaritmo de la verosimilitud al considerar los parámetros estimados.
- Seudo R^2 : Se calcula como $1 - l(\beta)/l(\tilde{\beta})$ donde β es el conjunto de parámetros estimados y $\tilde{\beta}$ es el conjunto de parámetros

considerándolos iguales a cero excepto la constante. Varía entre cero y 1. Mientras mayor es su valor mejor es el ajuste del modelo.

Las variables explicativas utilizadas en los distintos MPA fueron las siguientes:

- LOG(CONSTANTE): logaritmo de la constante del modelo. Surge porque la estimación se realiza sobre el logaritmo del MPA (ver ecuación más arriba) para generar una especificación lineal en los parámetros.
- ENTORNO: vale 1 si el entorno del lugar (intersección) es céntrico y 0 en caso contrario.
- ISLA_CENTRAL: vale 1 es la intersección cuenta con isla(s) para proteger a los peatones y 0 en caso contrario.
- MEDIANA: vale 1 es la intersección cuenta con mediana(s) para proteger a los peatones y 0 en caso contrario.
- PISTAS_VIRAJE: vale 1 es la intersección cuenta con pista(s) de viraje para proteger a los peatones y 0 en caso contrario.
- TIPOCRUZ: vale 1 es la intersección tiene 4 accesos y 0 en caso contrario.
- TIPOT vale 1 es la intersección tiene 3 accesos y 0 en caso contrario.
- LOG(qp): logaritmo de (TMDA/1000) en la vía prioritaria. Surge porque la estimación se realiza sobre el logaritmo del modelo para generar una especificación lineal en los parámetros.
- LOG(qs): logaritmo de (TMDA/1000) en la vía secundaria. Surge porque la estimación se realiza sobre el logaritmo del modelo para generar una especificación lineal en los parámetros.
- LOG(SOBREDISPERSION): logaritmo del parámetro de sobredispersión (μ) asociado al supuesto de distribución binomial negativa de los accidentes. Se cumple entonces que $V = acc(1 + \mu \cdot acc)$ donde V es la varianza y acc la media de los accidentes.

Debido al tamaño de la muestra total disponible (800 observaciones aprox.) y su composición por consecuencias en las personas y ciudad (ver sección 7.1), los MPA se estimaron sin distinguir la gravedad de las consecuencias y tampoco la ciudad en que ocurrieron. La desagregación se realizó utilizando la distribución observada en los datos del SIEC-2.

7.3.1 Modelos para intersecciones no semaforizadas

Las siguientes tablas muestran los modelos estimados para intersecciones no semaforizadas (reguladas con señal PARE o CEDA EL PASO).

Se probaron inicialmente modelos con todas las variables explicativas definidas y se quitaron sucesivamente de los modelos aquellas variables explicativas con coeficientes poco significativos (probabilidad cercana a 1) o signo incorrecto.

Tabla 7-8: Modelo de predicción de accidentes-Alternativa 1

Variable	Coeficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-3,438	0,527	-6,525	0,000
ENTORNO	0,384	0,213	1,804	0,071
ISLA_CENTRAL	0,432	0,269	1,605	0,109
MEDIANA	-0,237	0,276	-0,857	0,392
PISTAS_VIRAJE	-0,145	0,388	-0,375	0,708
TIPOCRUZ	1,681	0,419	4,012	0,000
TIPOT	1,142	0,454	2,518	0,012
LOG(qp)	0,655	0,181	3,619	0,000
LOG(qs)	0,172	0,110	1,557	0,120
LOG(SOBREDISPERSION)	0,512	0,163	3,146	0,002

Akaike	2,234
Promedio log verosimilitud	-1,093
Seudo R ²	0,274

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-9: Modelo de predicción de accidentes-Alternativa 2

Variable	Coeficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-3,421	0,523	-6,536	0,000
ENTORNO	0,391	0,210	1,859	0,063
ISLA_CENTRAL	0,408	0,270	1,510	0,131
MEDIANA	-0,236	0,276	-0,855	0,392
PISTAS_VIRAJE				
TIPOCRUZ	1,676	0,419	4,005	0,000
TIPOT	1,130	0,453	2,498	0,013
LOG(qp)	0,646	0,179	3,619	0,000
LOG(qs)	0,170	0,110	1,545	0,122
LOG(SOBREDISPERSION)	0,513	0,163	3,155	0,002

Akaike	2,229
Promedio log verosimilitud	-1,093
Seudo R ²	0,274

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-10: Modelo de predicción de accidentes-Alternativa 3

Variable	Coeficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-3,418	0,514	-6,648	0,000
ENTORNO	0,436	0,202	2,155	0,031
ISLA_CENTRAL	0,317	0,256	1,236	0,217
MEDIANA				
PISTAS_VIRAJE				
TIPOCRUZ	1,692	0,412	4,108	0,000
TIPO_T	1,140	0,444	2,569	0,010
LOG(qp)	0,608	0,155	3,929	0,000
LOG(qs)	0,173	0,108	1,603	0,109
LOG(SOBREDISPERSION)	0,536	0,156	3,425	0,001

Akaike	2,227
Promedio log verosimilitud	-1,094
Seudo R ²	0,273

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-11: Modelo de predicción de accidentes-Alternativa 4

Variable	Coeficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-3,443	0,515	-6,685	0,000
ENTORNO	0,354	0,188	1,887	0,059
ISLA_CENTRAL				
MEDIANA				
PISTAS_VIRAJE				
TIPOCRUZ	1,751	0,408	4,290	0,000
TIPO_T	1,155	0,442	2,611	0,009
LOG(qp)	0,634	0,155	4,098	0,000
LOG(qs)	0,188	0,105	1,787	0,074
LOG(SOBREDISPERSION)	0,545	0,155	3,504	0,001

Akaike	2,225
Promedio log verosimilitud	-1,096
Seudo R ²	0,272

Fuente: Elaboración propia

7.3.2 Modelos para intersecciones semaforizadas

Las siguientes tablas muestran los modelos estimados para intersecciones semaforizadas. Se probaron en cada caso versiones con los flujos separados (prioritario y secundario) y juntos (sumados). En este caso se consideró como prioritario el eje con mayor flujo según los datos de las mediciones periódicas o continuas disponibles.

Tal como en el caso de las intersecciones de prioridad, se quitaron sucesivamente de los modelos las variables explicativas con coeficientes poco significativos (probabilidad cercana a 1) o signo incorrecto.

Tabla 7-12: Modelo de predicción de accidentes-Alternativa 1a

Variable	Coeficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-1,278	0,390	-3,277	0,001
ENTORNO	-0,228	0,127	-1,793	0,073
ISLA_CENTRAL	-0,244	0,167	-1,460	0,144
MEDIANA	0,409	0,149	2,747	0,006
PISTAS_VIRAJE	0,051	0,197	0,259	0,796
TIPOCRUZ	0,489	0,251	1,950	0,051
TIPOT	0,250	0,313	0,800	0,424
LOG(qp)	0,246	0,120	2,058	0,040
LOG(qs)	0,390	0,083	4,694	0,000
LOG(SOBREDISPERSION)	0,091	0,123	0,740	0,459

Akaike	3,513
Promedio log verosimilitud	-1,732
Seudo R ²	0,270

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-13: Modelo de predicción de accidentes-Alternativa 1b

Variable	Coeficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-1,695	0,453	-3,738	0,000
ENTORNO	-0,202	0,129	-1,565	0,118
ISLA_CENTRAL	-0,206	0,171	-1,202	0,229
MEDIANA	0,452	0,153	2,961	0,003
PISTAS_VIRAJE	0,055	0,199	0,278	0,781
TIPOCRUZ	0,517	0,252	2,052	0,040
TIPOT	0,068	0,301	0,227	0,821
LOG(qp+qs)	0,557	0,128	4,346	0,000
LOG(SOBREDISPERSION)	0,130	0,123	1,052	0,293

Akaike	3,533
Promedio log verosimilitud	-1,745
Seudo R ²	0,265

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-14: Modelo de predicción de accidentes-Alternativa 2a

Variable	Coeficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-1,277	0,392	-3,261	0,001
ENTORNO	-0,231	0,126	-1,828	0,068
ISLA_CENTRAL	-0,235	0,174	-1,354	0,176
MEDIANA	0,409	0,149	2,743	0,006
PISTAS_VIRAJE				
TIPOCRUZ	0,484	0,258	1,875	0,061
TIPO_T	0,252	0,313	0,805	0,421
LOG(qp)	0,249	0,118	2,104	0,035
LOG(qs)	0,390	0,083	4,709	0,000
LOG(SOBREDISPERSION)	0,091	0,123	0,738	0,461

Akaike	3,508
Promedio log verosimilitud	-1,732
Seudo R ²	0,270

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-15: Modelo de predicción de accidentes-Alternativa 2b

Variable	Coeficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-1,699	0,452	-3,756	0,000
ENTORNO	-0,205	0,129	-1,595	0,111
ISLA_CENTRAL	-0,195	0,181	-1,079	0,281
MEDIANA	0,452	0,153	2,954	0,003
PISTAS_VIRAJE				
TIPOCRUZ	0,512	0,257	1,989	0,047
TIPO_T	0,071	0,302	0,234	0,815
LOG(qp+qs)	0,561	0,126	4,457	0,000
LOG(SOBREDISPERSION)	0,130	0,123	1,049	0,294

Akaike	3,528
Promedio log verosimilitud	-1,745
Seudo R ²	0,265

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-16: Modelo de predicción de accidentes-Alternativa 3a

Variable	Coeficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-0,843	0,301	-2,799	0,005
ENTORNO	-0,264	0,127	-2,074	0,038
ISLA_CENTRAL	-0,196	0,170	-1,151	0,250
MEDIANA	0,355	0,144	2,468	0,014
PISTAS_VIRAJE				
TIPOCRUZ				
TIPOT				
LOG(qp)	0,227	0,118	1,923	0,054
LOG(qs)	0,434	0,074	5,877	0,000
LOG(SOBREDISPERSION)	0,112	0,122	0,915	0,360

Akaike	3,509
Promedio log verosimilitud	-1,737
Seudo R ²	0,268

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-17: Modelo de predicción de accidentes-Alternativa 3b

Variable	Coeficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-1,371	0,373	-3,678	0,000
ENTORNO	-0,232	0,130	-1,787	0,074
ISLA_CENTRAL	-0,133	0,174	-0,762	0,446
MEDIANA	0,363	0,151	2,404	0,016
PISTAS_VIRAJE				
TIPOCRUZ				
TIPOT				
LOG(qp+qs)	0,601	0,127	4,738	0,000
LOG(SOBREDISPERSION)	0,172	0,122	1,412	0,158

Akaike	3,539
Promedio log verosimilitud	-1,755
Seudo R ²	0,261

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-18: Modelo de predicción de accidentes-Alternativa 4a

Variable	Coefficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-1,452	0,392	-3,709	0,000
ENTORNO	-0,299	0,126	-2,369	0,018
ISLA_CENTRAL				
MEDIANA				
PISTAS_VIRAJE				
TIPOCRUZ	0,407	0,279	1,461	0,144
TIPOTR	0,262	0,326	0,802	0,422
LOG(qp)	0,379	0,116	3,267	0,001
LOG(qs)	0,430	0,078	5,494	0,000
LOG(SOBREDISPERSION)	0,132	0,123	1,072	0,284

Akaike	3,514
Promedio log verosimilitud	-1,740
Seudo R ²	0,267

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-19: Modelo de predicción de accidentes-Alternativa 4b

Variable	Coefficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-2,015	0,443	-4,552	0,000
ENTORNO	-0,282	0,128	-2,195	0,028
ISLA_CENTRAL				
MEDIANA				
PISTAS_VIRAJE				
TIPOCRUZ	0,434	0,280	1,553	0,120
TIPOTR	0,082	0,319	0,259	0,796
LOG(qp+qs)	0,754	0,114	6,634	0,000
LOG(SOBREDISPERSION)	0,173	0,123	1,411	0,158

Akaike	3,537
Promedio log verosimilitud	-1,754
Seudo R ²	0,261

Fuente: Elaboración propia

7.3.3 Modelos para tramos de vía

Las siguientes tablas muestran los modelos estimados para tramos de vía.

Se probaron inicialmente modelos con todas las variables explicativas definidas y se quitaron sucesivamente de los modelos aquellas variables explicativas con coeficientes poco significativos (probabilidad cercana a 1) o signo incorrecto.

Tabla 7-20: Modelo de predicción de accidentes-Alternativa 1

Variable	Coficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-0,867	0,399	-2,174	0,030
LOG(LONGITUD)	1,108	0,126	8,798	0,000
ENTORNO	0,052	0,190	0,272	0,785
ISLA_CENTRAL	-0,385	0,523	-0,736	0,462
MEDIANA	-0,026	0,198	-0,131	0,896
PISTAS_VIRAJE	1,953	0,950	2,055	0,040
LOG(q)	0,355	0,148	2,401	0,016
LOG(SOBREDISPERSION)	1,478	0,149	9,925	0,000

Akaike	1,359
Promedio log verosimilitud	-0,672
Seudo R ²	0,357

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-21: Modelo de predicción de accidentes-Alternativa 2

Variable	Coficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-0,962	0,413	-2,332	0,020
LOG(LONGITUD)	1,120	0,125	8,960	0,000
ENTORNO	0,002	0,195	0,013	0,990
ISLA_CENTRAL				
MEDIANA				
PISTAS_VIRAJE	0,004	0,200	0,021	0,983
LOG(q)	0,415	0,156	2,664	0,008
LOG(SOBREDISPERSION)	1,515	0,150	10,129	0,000

Akaike	1,360
Promedio log verosimilitud	-0,674
Seudo R ²	0,355

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-22: Modelo de predicción de accidentes-Alternativa 3

Variable	Coficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-0,961	0,399	-2,409	0,016
LOG(LONGITUD)	1,120	0,126	8,892	0,000
ENTORNO				
ISLA_CENTRAL				
MEDIANA				
PISTAS_VIRAJE	0,004	0,202	0,021	0,983
LOG(q/pista)	0,415	0,156	2,668	0,008
LOG(SOBREDISPERSION)	1,515	0,148	10,221	0,000

Akaike	1,358
Promedio log verosimilitud	-0,674
Seudo R ²	0,355

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-23: Modelo de predicción de accidentes-Alternativa 4

Variable	Coficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-0,960	0,394	-2,435	0,015
LOG(LONGITUD)	1,121	0,123	9,130	0,000
ENTORNO				
ISLA_CENTRAL				
MEDIANA				
PISTAS_VIRAJE				
LOG(q)	0,416	0,154	2,700	0,007
LOG(SOBREDISPERSION)	1,515	0,148	10,211	0,000

Akaike	1,356
Promedio log verosimilitud	-0,674
Seudo R ²	0,355

Fuente: Elaboración propia

7.3.4 Selección de modelos

En función de los resultados obtenidos en la estimación de los parámetros de los MPA, se seleccionaron los MPA con mejores indicadores de ajuste y de significancia de sus parámetros tanto para intersecciones no semaforizadas como semaforizadas. En el caso de intersecciones, sistemáticamente la variable “pistas_viraje” resultó poco significativa, esto se explica probablemente por el bajo número de lugares en que existe esa característica dentro de la muestra (ver Tabla 7-3).

La siguiente tabla muestra los modelos seleccionados por tipo de intersección.

Tabla 7-24: Modelos de predicción de accidentes seleccionados por tipo de intersección

Variable	No semaforizadas		Semaforizadas	
	Coeficiente	Probabilidad	Coeficiente	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-3,443	0,000	-1,452	0,000
ENTORNO	0,354	0,059	-0,299	0,018
TIPOCRUZ	1,751	0,000	0,407	0,144
TIPOT	1,155	0,009	0,262	0,422
LOG(qp)	0,634	0,000	0,379	0,001
LOG(qs)	0,188	0,074	0,430	0,000
LOG(SOBREDISPERSION)	0,545	0,001	0,132	0,284

Número de observaciones	423	415
Akaike	2,225	3,514
Promedio log verosimilitud	-1,096	-1,740
Seudo R ²	0,272	0,267

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla muestra el modelo seleccionado para el caso de tramos de vía.

Tabla 7-25: Modelo de predicción de accidentes-tramo de vía

Variable	Coeficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-0,960	0,394	-2,435	0,015
LOG(LONGITUD)	1,121	0,123	9,130	0,000
ENTORNO				
ISLA_CENTRAL				
MEDIANA				
PISTAS_VIRAJE				
LOG(q)	0,416	0,154	2,700	0,007
LOG(SOBREDISPERSION)	1,515	0,148	10,211	0,000

Akaike	1,356
Promedio log verosimilitud	-0,674
Seudo R ²	0,355

Fuente: Elaboración propia

Estos tres MPA son los que se propone aplicar para estimar la accidentabilidad en intersecciones y tramos de vía urbanos, como se explica a continuación.

7.3.5 Estimación de accidentes con el método bayesiano empírico

La literatura especializada recomienda que la estimación del número de accidentes se realice mediante la técnica bayesiana empírica. Esto implica que la mejor estimación de los accidentes es el promedio ponderado del valor

estimado con el MPA (acc_m) y los accidentes registrados en el lugar (acc_r). El ponderador en ese promedio (α) es una función del parámetro de sobredispersión (μ) y acc_m , como sigue:

$$\alpha = \frac{1}{1 + \mu \cdot acc_m}$$

Por lo tanto, la estimación bayesiana empírica del número de accidentes (acc_f) en una intersección está dada por:

$$acc_f = \alpha \cdot acc_m + (1 - \alpha) \cdot acc_r$$

Según los resultados reportados previamente, el ponderador α toma valores entre 0,3 y 0,5 aproximadamente. Esto significa que los MPA generados representarán entre el 30% y el 50% del número de accidentes que resulte al aplicar el método bayesiano empírico. Este resultado es similar al obtenido por el consultor en el caso de MPA para vías interurbanas. En definitiva, el número estimado de accidentes será siempre un valor intermedio entre el promedio de accidentes registrados en el lugar y los estimados con el MPA; lo que da cuenta del fenómeno de regresión a la media.

El cálculo de los beneficios sociales de la reducción de accidentes requiere estimar los accidentes según su nivel de gravedad. Teniendo en cuenta que los MPA estiman el total de accidentes esa desagregación se hizo utilizando la información histórica registrada en la base SIEC-2.

Por lo tanto, la estimación final del número de accidentes con consecuencias c (acc_f^c) en un cierto lugar está dada por la siguiente expresión general:

$$acc_f^c = \alpha \cdot acc_m \cdot p_c + (1 - \alpha) \cdot acc_{r,c}$$

Donde acc_m es el número de accidentes estimado con el MPA, p_c es la proporción de accidentes con consecuencias c y $acc_{r,c}$ el promedio de accidentes con consecuencias c por año registrados en el lugar.

La siguiente tabla muestra la distribución observada de los accidentes con fallecidos y solo con lesionados en las ciudades analizadas en el período 2008-2012.

Tabla 7-26: Distribución de accidentes con fallecidos y solo con lesionados. Período 2008-2012

Ciudad	Fallecidos		Solo lesionados		Total
	Número	%	Número	%	
Antofagasta	79	2%	3.496	98%	3.575
Punta Arenas	26	1%	2.057	99%	2.083
Santiago	1.293	3%	47.819	97%	49.112
Temuco	63	1%	4.331	99%	4.394
Valparaíso	152	2%	8.839	98%	8.991
Total general	1.613	2%	66.542	98%	68.155

Fuente: Elaboración propia

Esta distribución de los accidentes puede ser utilizada si no se cuenta con suficiente información sobre las consecuencias de los accidentes para el lugar analizado.

El uso de un MPA para estimar el total de accidentes y la aplicación de proporciones para distribuir los accidentes por tipo es el mismo enfoque utilizado en el HSM de la FHWA de E.E.U.U.

8 ESTIMACIÓN DE COSTOS SOCIALES DE ACCIDENTES VIALES URBANOS

8.1 Introducción

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

Los costos asociados a las víctimas de accidentes de tránsito son valorados en base a tres componentes: tratamiento lesiones, gastos administrativos y pérdida de productividad (capital humano). Adicionalmente, se agrega el costo asociado a los daños materiales.

En el marco del estudio “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”, Mideplan - Sectra (2007), se desarrolló una metodología para estimar el vector de precios sociales de accidentes, determinándose sus valores para el año 2006. En el citado estudio se propuso también una metodología de actualización del vector de precios basada en tres parámetros principales: índice de remuneraciones; valor del dólar; y valor de la UF.

El objetivo de este capítulo es estimar los costos medios de por accidentes, lo que permitirá estimar los beneficios asociados a los proyectos de vialidad urbana que incorporen medidas para mejorar la seguridad vial.

La determinación de los costos medios por accidentes, requiere en primer lugar, actualizar el vector de precios sociales a \$ de diciembre de 2013. Para ello, se utilizó la metodología de actualización desarrollada en el estudio citado más arriba, lo que se reporta en la sección 8.2 siguiente. Luego, en la sección 8.3 se reportan los resultados de la estimación de los costos promedio por accidentes de tránsito urbanos.

8.2 Actualización del vector de precios sociales de accidentes

En el Anexo Digital se entrega la planilla “Cálculo de Costos Sociales Accidentes Vector 2013.xls”, a través de la cual se realizó la actualización del vector de precios sociales de lesionados y daños materiales a vehículos.

La planilla posee la determinación del vector para el año base 2006 y a través de factores de actualización de los parámetros entre el 2006 y 2013 se determina el nuevo vector para el año 2013.

El primer parámetro requerido es el índice de remuneraciones. Este corresponde a un índice con base 100 (definida en un mes/año) y que es publicado por el INE. El índice de remuneraciones original utilizado en el estudio de referencia fue de diciembre de 2006 (con base 100 en enero de 2006) con un valor de 105,26. Luego, para determinar el factor de actualización basta con disponer del valor del índice para diciembre de 2013. Sin embargo, la serie disponible en el sitio web del INE define una nueva base (en este caso anual y correspondiente al año 2009⁴), por lo que se debe calcular un índice compuesto para unir ambas series.

En primer lugar, se obtuvo el índice correspondiente a diciembre de 2009 (archivo “Índice general de remuneraciones al 2009.xls” en el Anexo Digital), cuyo valor es de 129,88. Luego, de la segunda serie, el valor de diciembre de 2009 es de 101,67 y el de diciembre de 2013 es de 127,01. Luego, el índice correspondiente a diciembre de 2013 con base en enero de 2006 queda dado por:

$$IR_{Dic.2013} = IR_{Dic.2009}^{Serie 1} \times \frac{IR_{Dic.2013}^{Serie 2}}{IR_{Dic.2009}^{Serie 2}} = 129,88 \times \frac{127,01}{101,67} = 162,25$$

El segundo parámetro requerido es el dólar para diciembre de 2013 cuyo valor fue de \$523,76. El valor base de diciembre de 2006 es de \$534,43.

Por último, el valor de la UF de diciembre de 2013 fue de \$23.309,56. El valor base de diciembre de 2006 es de \$18.336,38.

A través de los parámetros anteriores y la planilla referida anteriormente, se determinó el nuevo vector de precios sociales de accidentes para el año 2013, que se presenta en los cuadros siguientes.

Tabla 8-1: Costo social unitario según tipo de lesión (\$ de diciembre de 2013/persona)

Componente	Lesión			
	Fatal	Grave	Menos grave	Leve
Tratamiento lesionados	368.818	2.035.563	271.997	91.553
Gastos administrativos	2.224.248	1.250.090	644.355	617.925
Capital humano	102.170.441	-	-	-
Total	104.763.508	3.285.652	916.352	709.478

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla muestra los valores asociados al costo social por daños a vehículos involucrados en los accidentes.

⁴ La base 100 anual significa que el promedio de los índices mensuales de todo el año es igual a 100. En el caso particular del año 2009, el índice de enero es 99,11 y el de diciembre 101,67 (ver archivo “remuneraciones_ICMO_2014.xls” en el Anexo Digital).

Tabla 8-2: Costo social unitario según tipo de lesión (\$ de diciembre de 2013/vehículo)

Vehículo	Tipo de accidentes				
	Atropello	Caída	Choque	Colisión	Volcadura
Livianos	525.507	0	2.089.695	1.926.299	5.053.903
Pesados	261.145	0	5.144.781	7.730.340	10.145.628

Fuente: Elaboración propia

8.3 Costos promedio por accidentes

Para determinar el costo promedio por accidente es necesario caracterizar el accidente promedio en términos del número de lesionados por accidente y por tipo de lesionado, y el número de vehículos participantes. En el caso de los lesionados no es relevante el tipo de accidente, ya que los costos solo están asociados a la gravedad del lesionado. En el caso de los daños materiales a vehículos, estos sí están asociados con el tipo de accidente, por lo que es necesario conocer la distribución de los accidentes según el tipo.

Todos los cálculos que a continuación se presentan provienen del archivo “Accidentes_2008-2012-final-v3.0.xlsm” que se entrega en el Anexo Digital.

Por otra parte, dado que la metodología desarrollada en este estudio se basa en la estimación de la reducción de los accidentes diferenciando entre accidentes con fallecidos y accidentes sólo con lesionados, es necesario trabajar con esa desagregación de la información.

Las tablas siguientes muestran los valores que describen los accidentes según sus consecuencias en las personas, tanto para accidentes con fallecidos como accidentes solo con lesionados.

Tabla 8-3: Número promedio de involucrados según gravedad de las lesiones: accidentes con fallecidos

Ciudad	Fallecidos	Heridos graves	Heridos menos graves	Heridos leves
Antofagasta	1,20	0,63	0,19	1,13
Punta Arenas	1,23	0,42	0,00	0,46
Santiago	1,05	0,20	0,06	0,36
Temuco	1,02	0,32	0,03	0,48
Valparaíso	1,07	0,36	0,09	0,66
Todos ⁵	1,06	0,25	0,07	0,43
Promedio simple ⁶	1,11	0,39	0,07	0,62

Fuente: Elaboración propia, Base de datos de Accidentes

⁵ Corresponde al resultado que se obtiene al considerar todos los datos sin discriminar por ciudad.

⁶ Corresponde al promedio simple de los resultados de las 5 ciudades analizadas.

Tabla 8-4: Número promedio de involucrados según gravedad de las lesiones: accidentes con lesionados

Ciudad	Fallecidos	Heridos graves	Heridos menos graves	Heridos leves
Antofagasta	0,00	0,15	0,09	1,42
Punta Arenas	0,00	0,12	0,10	1,28
Santiago	0,00	0,17	0,09	1,06
Temuco	0,00	0,17	0,08	1,18
Valparaíso	0,00	0,16	0,09	1,34
Todos	0,00	0,17	0,09	1,13
Promedio simple	0,00	0,16	0,09	1,26

Fuente: Elaboración propia, a partir de la base de datos de accidentes

Utilizando los costos sociales unitarios y la distribución de fallecidos y lesionados recién indicados, se estimó el costo social promedio de los accidentes en cada ciudad analizada asociados a los lesionados.

Tabla 8-5: Costo social promedio asociado a las víctimas de los accidentes de tránsito

Ciudad	Accidentes con fallecidos	Accidentes solo con lesionados
Antofagasta	129.034.237	2.424.720
Punta Arenas	130.657.238	2.020.692
Santiago	110.521.728	2.257.393
Temuco	107.836.423	2.107.304
Valparaíso	113.400.562	2.048.906
Todos	111.919.385	2.236.445
Promedio simple	118.290.038	2.171.803

Fuente: Elaboración propia

En el caso de los daños materiales, en primer lugar se determinó el costo por daños asociado a cada tipo de accidente. Para ello, solamente se dispuso de la información de vehículos participantes para la ciudad de Santiago, cuyo promedio se consideró válido para todo el país. En la tabla siguiente se muestra los resultados obtenidos.

Tabla 8-6: Participación de vehículos por tipo de accidente

Tipo Accidente	Total Accidentes	Vehículos involucrados		Tasa de participación (veh/acc)	
		V. Livianos	V. Pesados	V. Livianos	V. Pesados
Atropello	11.465	9.012	2.638	0,79	0,23
Caída	3.193	307	3.026	0,10	0,95
Choque	6.007	8.480	1.205	1,41	0,20
Colisión	24.453	35.536	4.969	1,45	0,20
Volcadura	568	569	90	1,00	0,16

Fuente: Elaboración propia, Base de datos de Accidentes SIEC-2

A partir de la tasa de participación de vehículos por tipo de accidente, es posible determinar un costo medio por daños materiales a los vehículos, lo que se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 8-7: Costo medio por daños materiales según tipo de accidente (\$ de diciembre 2013/acc)

Atropello	Caída	Choque	Colisión	Volcadura
475.214	0	3.975.426	4.339.201	6.677.203

Fuente: Elaboración propia

Nótese en la tabla anterior que el tipo de accidente “caída”, si bien participan vehículos, se asume que estos no sufren daños.

Por último, para establecer el costo promedio final por daños materiales a los vehículos, se requiere conocer la distribución por tipo de accidentes en cada ciudad considerada en el presente análisis. En las tablas siguientes se muestra este dato para los accidentes con y sin fallecidos.

Tabla 8-8: Distribución por tipo, accidentes con fallecidos

Ciudad	Atropello	Caída	Choque	Colisión	Volcadura
Antofagasta	49,4%	1,3%	12,7%	30,4%	6,3%
Punta Arenas	53,8%	0,0%	23,1%	15,4%	7,7%
Santiago	51,5%	0,6%	15,8%	29,3%	2,7%
Temuco	55,6%	0,0%	15,9%	25,4%	3,2%
Valparaíso	55,3%	1,3%	16,7%	20,0%	6,7%
Todos	52,0%	0,7%	15,9%	28,1%	3,4%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8-9: Distribución por tipo, accidentes con lesionados

Ciudad	Atropello	Caída	Choque	Colisión	Volcadura
Antofagasta	28,1%	4,3%	16,1%	47,4%	4,1%
Punta Arenas	22,8%	0,7%	21,2%	52,2%	3,1%
Santiago	25,3%	7,6%	13,0%	52,1%	2,1%
Temuco	27,2%	4,6%	14,8%	50,4%	2,9%
Valparaíso	30,0%	6,7%	21,2%	37,8%	4,3%
Todos	26,1%	6,9%	14,6%	49,9%	2,6%

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que las distribuciones obtenidas tienen diferencias importantes según las consecuencias de los accidentes y entre ciudades. Por ejemplo, en los accidentes con fallecidos se aprecia una alta incidencia de atropellos con un 49,4% del total de accidentes con fallecidos, mientras que en los accidentes solo con lesionados los atropellos alcanzan solo el 28,1%.

Finalmente, a partir de la distribución y el costo medio por tipo de accidente, se determina el costo medio por daños materiales a los vehículos en cada ciudad, lo cual se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 8-10: Costo social promedio de los accidentes de tránsito por daños materiales a los vehículos (\$ de diciembre de 2013/acc)

Ciudad	Accidentes con fallecidos	Accidentes solo con lesionados
Antofagasta	2.478.664	3.103.262
Punta Arenas	2.354.491	3.421.016
Santiago	2.327.734	3.036.075
Temuco	2.209.022	3.102.365
Valparaíso	2.238.510	2.914.533
Todos	2.322.604	3.039.969
Promedio simple	2.321.684	3.115.450

Fuente: Elaboración propia

Nótese en la tabla anterior, que el costo por daños resulta menor en el caso de los accidentes con fallecidos. Esto que pareciera contra intuitivo, se debe a la mayor incidencia de atropellos en los accidentes con fallecidos, en los cuales los daños a los vehículos son significativamente menores.

Finalmente, el costo total promedio por accidente se entrega en la tabla siguiente.

Tabla 8-11: Costo social promedio por accidentes de tránsito urbanos (\$ de diciembre de 2013/acc)

Ciudad	Accidentes con fallecidos	Accidentes solo con lesionados
Antofagasta	131.512.901	4.684.948
Punta Arenas	133.011.728	4.827.972
Santiago	112.849.462	4.441.186
Temuco	110.045.444	4.576.122
Valparaíso	115.639.072	4.482.153
Todos	114.241.989	4.480.469
Promedio simple	120.611.722	4.602.476

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior queda en evidencia que el costo promedio de los accidentes está fuertemente condicionado por los fallecidos.

9 DEFINICIÓN DE MEDIDAS DE SEGURIDAD DE TRÁNSITO

9.1 Identificación de medidas de seguridad de tránsito

La metodología de evaluación tiene como objetivo ser aplicada en proyectos de transporte urbano con impacto en la seguridad vial o en proyectos específicos constituidos por una o más medidas que buscan preferentemente mejorar la seguridad de tránsito en un sector vial determinado.

En el primer caso, la identificación del proyecto surge del propio proceso de elaboración del proyecto de transporte. En el caso de proyectos de seguridad de tránsito, dada la necesidad de estimar sus efectos sobre la accidentabilidad y la amplia variedad de iniciativas posibles de implementar, es necesario concentrar el análisis en esta primera versión de la metodología en aquellos que producen mayor reducción de los accidentes y que además son de uso habitual en las vías urbanas del país. Para esto se revisó el libro **The handbook of road safety measures**⁷ y se identificaron las medidas aplicables en el ámbito urbano que de acuerdo con los autores generan la mayor reducción de accidentes. En función de esto, los proyectos de seguridad de tránsito incorporados en la metodología son los siguientes.

⁷ Elvik, R., Høy, A., Vaa, T. Sørensen, M. (2009) **The handbook of road safety measures, Second Edition**, Emerald, UK.

Tabla 9-1: Proyectos de seguridad de tránsito

Tipo de proyecto	Proyecto específico
Canalización de movimientos vehiculares en intersecciones	Pista viraje izquierda: intersección en T
	Pista viraje derecha: intersección en T
	Pista viraje izquierda: intersección en Cruz
	Pista viraje derecha: intersección en Cruz
Rotonda	Remplazo de intersección de T o Cruz por rotonda
Mejoramientos de la sección transversal	Instalación de mediana
Semaforización de intersecciones	Semaforización de intersección en T
	Semaforización de intersección en Cruz
Semaforización de cruces peatonales	Cruce peatonal semaforizado
Reductores de velocidad	Resalto
	Bandas alertadoras
Facilidades para peatones	Cruce peatonal a nivel de acera
	Iluminación de cruce peatonal
Demarcación y señalización	Líneas de borde
	Línea central
	Línea divisoria de pistas
	Líneas de borde y tachas
	Líneas de borde y demarcación en curva
	Tachas y demarcación en curva
	Líneas de borde y línea central
	Líneas de borde, línea central y postes delineadores

Fuente: Elaboración propia a partir de "The handbook of road safety measures"

Este conjunto de medidas de seguridad de tránsito incluye algunas que actualmente pueden ser financiadas con el soporte de estudios de justificación o porque son parte de exigencias normativas. Sin embargo, en la práctica es frecuente que por distintas razones no se asignen recursos públicos suficientes para implementarlas. Un ejemplo es la falta de mantenimiento de la demarcación y señalización vial en parte importante de las comunas del país. Se pretenden entonces que esta metodología entregue un antecedente cuantitativo adicional para que se asignen dichos recursos.

9.2 Efectos en la accidentabilidad

Los beneficios sociales de los proyectos de seguridad de tránsito están dados por los ahorros de recursos producidos por la disminución de los accidentes, ya sea 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.

Dada la carencia de estudios orientados a estimar el efecto de las medidas de seguridad desarrollados en el país, sólo cabe recurrir a la experiencia extranjera para definir esos efectos. Por lo tanto, se utilizó lo reportado en “The handbook of road safety measures”. En la tabla siguiente se detallan los efectos de las medidas de seguridad de tránsito seleccionadas.

Tabla 9-2: Factores de reducción de accidentes (%)

Tipo de medida	Medida	Porcentaje de reducción del número de accidentes			Totales
		Con fallecidos	Con lesionados	Sin lesionados	
Canalización de movimientos vehiculares en intersecciones	Pista viraje izquierda: intersección en T		-17	+1	-18
	Pista viraje derecha: intersección en T		-7	+1	+3
	Pista viraje izquierda: intersección en Cruz		-24	-77	-31
	Pista viraje derecha: intersección en Cruz		-7	+1	+3
Rotonda	Remplazo de intersección de T o Cruz por rotonda	-66	-46	+10	-36
Mejoramientos de la sección transversal	Instalación de mediana		-15	-2	-8
Semaforización de intersecciones	Semaforización de intersección en T		-15	-15	
	Semaforización de intersección en Cruz		-30	-35	
Semaforización de cruces peatonales	Cruce peatonal semaforizado				-23
Reductores de velocidad	Resalto		-41		
	Bandas alertadoras		-33	-25	-20
Facilidades para peatones	Cruce peatonal a nivel de acera				-42 (*)
	Iluminación de cruce peatonal				-63
Demarcación y señalización	Líneas de borde		-3	-3	
	Línea central		-1	+1	
	Línea divisoria de pistas		-18		
	Líneas de borde y tachas				-47
	Líneas de borde y demarcación en curva		-19		
	Tachas y demarcación en curva		-45		
	Líneas de borde y línea central		-24		
	Líneas de borde, línea central y postes delineadores		-45		

(*) Se refiere a accidentes con peatones

Fuente: The handbook of road safety measures. Second Edition. Emerald, UK.

Considerando que la base de SIEC-2 no registra o registra parcialmente los accidentes sin lesionados, los modelos o tasas estimadas no incluyen esos

accidentes y por lo tanto no es posible el efecto de las medidas en ese tipo de eventos.

La aplicación de los factores de reducción al número de accidentes en la Situación sin Proyecto permite determinar inmediatamente el ahorro, en cantidad de accidentes o en sus consecuencias, generado por el proyecto de seguridad de tránsito para cualquier año durante su vida útil.

En efecto, la variación del número de accidentes con consecuencias c está dada por la siguiente relación para el lugar (i):

$$acc_i^{P,c} = acc_i^{B,c} \cdot (1 + FR_i^c)$$

Donde:

$acc_i^{P,c}$: Número de accidentes de tipo c por año en la situación con proyecto.

$acc_i^{B,c}$: Número de accidentes de tipo c por año en la situación base.

FR_i^c : Factor de reducción del número de accidentes de tipo c según la medida de seguridad aplicada.

9.3 Estimación de costos privados y sociales de las medidas de seguridad

Considerando las medidas de seguridad descritas más arriba se definió un conjunto de configuraciones viales tipo en las que se ubicaron las principales partidas de las obras necesarias para implementar esas medidas de seguridad. Se consideran calzadas simples y dobles, intersecciones en T y en Cruz, semaforizadas o de prioridad. Las cubicaciones se realizaron incluyendo todos los elementos que la normativa vigente exige y materiales de buena calidad y durabilidad. Se analizaron tramos de 100 m y 50 m en cada acceso de una intersección.

Los valores que se reportan a continuación se refieren solamente al costo de las obras y la mano de obra asociada, por lo tanto, no incluyen los estudios de ingeniería entre otros costos adicionales asociados.

Los costos privados y sociales así estimados deben ser considerados como valores referenciales, que deben ser utilizados si no existe información específica del proyecto en estudio.

Tabla 9-3: Costo privado y social de medidas de seguridad de tránsito

Tipo	Medida	Descripción	Costo (UF)-pavimento hormigón		Costo (UF)-pavimento asfalto	
			Privado	Social	Privado	Social
Canalización de flujos vehiculares	A.1.1	Acceso de 2 pistas prioridad, generación pista de viraje a la izquierda (50 m)	721	567	721	567
	A.1.2	Acceso de 2 pistas semaforizado, generación pista de viraje a la izquierda (50 m)	725	570	737	570
	A.1.3	Acceso de 2 pistas semaforizado, generación pista de viraje a la derecha (50 m)	749	588	790	620
Rotonda	A.2.1	Intersección en Cruz-A	7.704	6.046	7.792	6.115
	A.2.2	Intersección en Cruz-B	10.511	8.248	10.722	8.274
Mediana	A.3.1	Mediana con solera	512	403		
Semaforización vehicular	A.4.1	Intersección en T-A	1.588	1.257		
	A.4.2	Intersección en T-B	2.073	1.641		
	A.4.3	Intersección en Cruz-A	1.702	1.348		
	A.4.4	Intersección en Cruz-B	2.374	1.879		
Semaforización peatonal	A.5.1	Cruce a mitad de cuadra en calzada doble (con isla peatonal nueva)	1.130	895		
	A.5.2	Cruce a mitad de cuadra en calzada doble(mediana existente)	1.196	947		
Resalto reductor de velocidad	A.6.1	Calzada simple	284	226		
	A.6.2	Calzada doble	417	332		
Bandas alertadoras	A.7.1	Calzada simple	76	60		
	A.7.2	Calzada doble	82	65		
Cruce peatonal a nivel de acera	A.8.1	Intersección prioridad en T-A	359	286		
	A.8.2	Intersección prioridad en Cruz-A	505	402		
Iluminación de cruces peatonales	A.9.1	Intersección prioridad en T-A	356	278		
	A.9.2	Intersección prioridad en T-B	688	537		
	A.9.3	Intersección prioridad en Cruz-A	522	408		
	A.9.4	Intersección prioridad en Cruz-B	892	697		
Demarcación y señalización reglamentaria	A.10.1	Calzada simple	98	78		
	A.10.2	Calzada doble	141	112		
	A.10.3	Intersección prioridad en T-A	230	182		
	A.10.4	Intersección prioridad en T-B	334	265		
	A.10.5	Intersección prioridad en Cruz-A	242	192		
	A.10.6	Intersección prioridad en Cruz-B	406	323		
	A.10.7	Intersección semaforizada en T-A	209	166		
	A.10.8	Intersección semaforizada en T-B	147	117		
	A.10.9	Intersección semaforizada en Cruz-A	128	102		
	A.10.10	Intersección semaforizada en Cruz-B	183	146		

Fuente: Elaboración propia.

10 DESARROLLO DE METODOLOGÍA DE INCORPORACIÓN DE LOS ACCIDENTES VIALES URBANOS EN LA EVALUACIÓN SOCIAL

10.1 Introducción, objetivos y alcance de la metodología

La evaluación social de proyectos es una herramienta fundamental para apoyar la toma de decisiones de inversión, particularmente en proyectos de infraestructura o gestión de transporte. 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 infraestructura de transporte urbano se encuentran posiblemente entre los más elevados en inversión con fondos públicos y privados del país, representando una alta proporción del gasto de los Ministerios de Vivienda y Urbanismo y de Obras Públicas, sin dejar de mencionar otras entidades públicas que también invierten en este sector como son METRO S.A., en el caso de Santiago, MERVAL S.A. en el Gran Valparaíso, EFE en Concepción, los municipios y fondos regionales, principalmente.

Si bien, esta metodología se orienta a proyectos de inversión y gestión en vialidad urbana, cualquier otra intervención en el sistema de transporte, como pueden ser Metro o trenes, tienen un indudable efecto en la seguridad al atraer viajes que dejarían de realizarse por el sistema vial.

En la evaluación social de los proyectos de transporte 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 más elevados que se utilizan en el mundo desarrollado, particularmente asociados a la vida humana y lesiones a las personas. Si bien, hay pocos estudios realizados en el ámbito urbano en el país⁸, estos muestran que claramente frente a determinadas opciones de intervenciones viales, existe un impacto en la seguridad.

⁸ González, S., Uribe, A., Borcoski, E. (1989) "Estudio de contramedidas para la reducción de accidentes en el tránsito en el eje Avenida Matta". *Actas del IV Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, 1989, pp. 51-71.

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 de transporte urbano en nuestro país, debido fundamentalmente a que se trata de un fenómeno poco estudiado y que se tiene poca confianza en la validez de los resultados que se obtengan.

La no consideración de la seguridad vial como impacto explícito en los proyectos de transporte urbano tiene efectos importantes. Por ejemplo, no se estima correctamente los beneficios de estos proyectos, con una tendencia a subvalorar los beneficios obteniéndose rentabilidades más bajas. De la misma manera, no se selecciona bien el tipo de proyecto, produciéndose un sesgo hacia proyectos menos seguros. Tampoco se destina un esfuerzo especial a incorporar medidas específicas de seguridad en los proyectos viales, dado que no agregan beneficios, sólo costos.

De esta manera las inversiones o iniciativas que buscan mejorar la seguridad vial han tendido a depender más de la sensibilidad de las autoridades correspondientes que a una valoración objetiva de impactos en los niveles de seguridad.

10.1.1 Objetivos

La metodología tiene como objetivo general especificar los procedimientos y etapas necesarias para evaluar económicamente los impactos sobre los niveles de seguridad en el tránsito de proyectos de transporte en el ámbito urbano. Para ello se requiere estimar la variación del número de accidentes entre la situación base y las situaciones con proyecto, y posteriormente valorar económicamente dicha variación desde una perspectiva social, durante el período de vida útil del proyecto. De esta manera, el análisis clásico de la rentabilidad de un proyecto de transporte urbano, con impacto en la vialidad, podrá ser complementado con el análisis de los impactos sociales de la reducción (o aumento) de accidentes asociados al proyecto.

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

- Mejorar la evaluación de proyectos de transporte urbano, al integrar los efectos sobre la seguridad en la toma de decisiones.
- Contribuir a seleccionar los mejores proyectos, considerando el diseño de ingeniería y la selección de dispositivos en cuanto a sus efectos sobre la seguridad.
- Ayudar a seleccionar las mejores medidas, tecnologías y dispositivos que contribuyen a reducir la accidentalidad.

- Detectar las fallas en las bases de datos de accidentes y de información complementarias que permitan mejorar la capacidad de predicción de impactos en las tasas de accidentes.
- Contar con una estimación de costos de proyectos de seguridad vial necesarios para estimar inicialmente sus rentabilidades.
- Incorporar a los tomadores de decisiones en el proceso de mejorar las condiciones de seguridad vial.

Los objetivos de este capítulo metodológico son:

- Presentar el enfoque metodológico general para evaluar proyectos incluyendo la base conceptual.
- Presentar las diferentes etapas que componen el desarrollo metodológico.
- Desarrollar cada una de las etapas que componen la metodología a un nivel que permita su comprensión y sirva de antecedente básico para la elaboración del capítulo siguiente constituido por la Guía de Recomendaciones Metodológicas de Tratamiento de los Accidentes Viales Urbanos.

10.1.2 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 presenta un grado de confiabilidad general, inferior a otros fenómenos propios del análisis de sistemas de transporte. Esta característica no disminuye la importancia de considerar los impactos sobre la accidentalidad en el tránsito en los proyectos de transporte urbano con impacto en la seguridad vial, dado que evita el mayor sesgo en la toma de decisiones al no incluirlos.

Otros aspectos que limitan el alcance de la metodología son:

1. La calidad de la información de accidentes y de características viales disponibles en el país. Tal como se ha podido apreciar en este estudio, 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 ausencia de registros sistemáticos de las características físico-operativas de las vías. 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 metodología,

particularmente en la predicción de impactos de los proyectos de seguridad y el nivel de desagregación con que se puede trabajar.

2. 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 metodología que acá se plantea se dirige fundamentalmente a los proyectos de nivel táctico y local, sin perjuicio de lo cual 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 calles nuevas o aumentos significativos de la capacidad cuyo tránsito es atraído desde otros tramos de la red.
3. La metodología que se ha planteado para este estudio representa el primer esfuerzo que se hace en el país para incorporar valores económicos derivados de cambios en la seguridad vial que afecten los indicadores de rentabilidad de los proyectos de transporte urbano. La idea es que quede reflejada en una Guía de Recomendaciones Metodológicas de Tratamiento de Accidentes Urbanos, la cual forma parte de este mismo informe (Capítulo 11). Este alcance desde el punto de vista metodológico significa que:
 - a. La metodología debe ser posible de aplicar por parte de profesionales que no necesariamente tengan una gran 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. La participación de especialistas será requerida en el momento de hacer un diagnóstico de la situación de la seguridad vial para un sector vial específico y, a partir de él, desarrollar el proceso de identificación de proyectos que mejoren las condiciones de seguridad y tengan la capacidad de transformarse en uno o más proyectos socialmente rentables. Para efectos de esta metodología, se supone que esta actividad, realizada por un especialista en seguridad, se encuentra previamente desarrollada y, esta metodología apoya la toma de decisión de inversión.
 - c. El alcance metodológico limitado en esta primera etapa corresponde a un reflejo de las deficiencias en la información disponible, ya sea sobre accidentes en el tránsito, sobre las

características viales específicas de la localización de cada accidente, en la información de tránsito y otros datos que una metodología más completa y rigurosa requiere, sin perjuicio de las dificultades que enfrenta la modelación del fenómeno estadístico y cantidad de variables que encierra la ocurrencia de accidentes.

- d. 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 solo como un fin en sí mismo, sino como un instrumento para mejorar la calidad de los proyectos y alcanzar los objetivos perseguidos con las inversiones.

10.1.3 Enfoque metodológico general

El enfoque metodológico general contiene los lineamientos principales y las etapas que componen la metodología de evaluación de proyectos de transporte urbano que afectan los niveles de seguridad vial.

Básicamente la metodología de evaluación tiene como objetivo entregar el conjunto de antecedentes económicos y no económicos que resumen los impactos principales de un proyecto que impacta los niveles de seguridad de tránsito. Estos se resumen en la estimación de beneficios económicos y costos económicos durante la vida útil del proyecto, así como en la estimación de los criterios de rentabilidad que se estime adecuados.

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

Un aspecto metodológico importante de señalar se refiere a que la diversidad de proyectos de transporte con impacto en la seguridad vial, así como la diversidad de medidas específicas de seguridad que se puede aplicar en un sector determinado de la red vial, conducen a la necesidad de utilizar distintos métodos de evaluación.

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

1. Tipología de proyectos de seguridad de tránsito. Se definen los tipos de proyectos que considera esta metodología, para los cuales se estiman tasas de reducción de accidentes, así como los costos sociales de los accidentes.

2. 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.
3. Métodos de estimación de la accidentabilidad en las situaciones sin y con proyecto, durante la vida útil del proyecto.
4. 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 accidentes y sus consecuencias.
5. Estimación de beneficios 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, junto con los valores económicos de esos accidentes, se estiman los beneficios de los proyectos de seguridad vial.
6. Estimación de costos sociales de proyectos de seguridad de tránsito. Se refiere a los costos de inversión en la implementación de los proyectos, así como su conservación durante la vida útil y su valor residual cuando corresponda.
7. Otros impactos en seguridad vial de proyectos de transporte urbano. Se refiere a impactos no considerados en los beneficios o en los costos estimados y que pueden ser considerados complementariamente en la toma de decisiones.
8. Criterios de rentabilidad. Se refiere a la selección de indicadores más apropiados para entregar los resultados de la evaluación.

En los puntos siguientes se presenta cada una de las etapas que forman parte de la metodología.

10.2 Tipología de proyectos de seguridad de tránsito

La metodología de evaluación que se desarrolla en este capítulo tiene como objetivo ser aplicada en proyectos de transporte urbano con impacto en la seguridad de tránsito o en proyectos específicos constituidos por una o más medidas que buscan mejorar la seguridad de tránsito en un lugar o sector determinado.

Los proyectos de transporte urbano con efecto en la seguridad de tránsito corresponden a un gran número de intervenciones tales como proyectos de gestión de tránsito, mejoramientos de ejes, etc. los cuales pueden tener efectos en la accidentabilidad que no han sido considerados hasta ahora.

Los proyectos específicos de seguridad son intervenciones puntuales que buscan resolver problemas de accidentabilidad. Para identificar los proyectos de ese tipo que forman parte de esta metodología se identificaron los que producen mayor reducción de los accidentes según la experiencia internacional y que además son de uso habitual en las vías urbanas del país. En función de esto, los

proyectos de seguridad de tránsito incorporados en esta metodología son los siguientes.

Tabla 10-1: Proyectos de seguridad de tránsito

Tipo de proyecto	Proyecto específico
Canalización de movimientos vehiculares en intersecciones	Pista viraje izquierda: intersección en T
	Pista viraje derecha: intersección en T
	Pista viraje izquierda: intersección en Cruz
	Pista viraje derecha: intersección en Cruz
Rotonda	Remplazo de intersección de T o Cruz por rotonda
Mejoramientos de la sección transversal	Instalación de mediana
Semaforización de intersecciones	Semaforización de intersección en T
	Semaforización de intersección en Cruz
Semaforización de cruces peatonales	Cruce peatonal semaforizado
Reductores de velocidad	Resalto
	Bandas alertadoras
Facilidades para peatones	Cruce peatonal a nivel de acera
	Iluminación de cruce peatonal
Demarcación y señalización	Líneas de borde
	Línea central
	Línea divisoria de pistas
	Líneas de borde y tachas
	Líneas de borde y demarcación en curva
	Tachas y demarcación en curva
	Líneas de borde y línea central
	Líneas de borde, línea central y postes delineadores

Fuente: Elaboración propia

Los efectos de estos proyectos en la accidentabilidad se reportan en la Tabla 10-10.

10.3 Definición de la situación base y con proyecto

La aplicación de una metodología de evaluación de proyectos requiere comparar los impactos que produce la ejecución de un nuevo proyecto (situación “con proyecto”) con una situación definida como base (situación “sin proyecto”). 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 erróneas.

La situación base se define usualmente también como la 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 situación con proyecto durante toda la vida útil del proyecto, será necesario proyectar ambas incorporando los cambios que sean necesarios para su correcto funcionamiento durante ese período.

10.4 Estimación de accidentes en las situaciones base y con proyecto

Una de las partes más importantes en la evaluación de los proyectos de seguridad de tránsito es la estimación de la accidentabilidad en las situaciones base (SB) y con proyecto (SP). Para esto, se debe comparar la proyección de accidentes en ambas situaciones y se establece el número de accidentes que se evitan (ahorran) por efecto de la ejecución del proyecto

La estimación del número de accidentes en las SB y SP requiere conocer las características físico-operativas de las vías involucradas en cada una de ellas. Los modelos estadísticos desarrollados también permiten incorporar información de los accidentes ocurridos en el sector vial específico en estudio, mejorando las predicciones.

10.4.1 Aspectos generales

Como parte del desarrollo de esta metodología, se llevó a cabo una serie de análisis conducentes a establecer métodos de predicción de la cantidad de accidentes en determinadas condiciones promedio. Se presentan a continuación los principales resultados obtenidos, así como la descripción del método de estimación de accidentes.

a) Tipología de intersecciones, tramos y accidentes

La metodología considera el análisis de la accidentabilidad en intersecciones y tramos de vía urbanas. Las intersecciones fueron desagregadas en dos tipos: no semaforizadas y semaforizadas.

Por otra parte, los accidentes fueron clasificados por tipo de acuerdo con las variables que se muestran a continuación.

Tabla 10-2: Variables utilizadas para clasificar las consecuencias de los accidentes de tránsito

Variable	Descripción
Muertos	Número de personas reportadas fallecidas en la base SIEC-2
Heridos graves	Número de personas reportadas con heridas graves en la base SIEC-2
Heridos menos graves	Número de personas reportadas con heridas menos graves y leves en la base SIEC-2
Heridos leves	Número de personas reportadas con heridas leves en la base SIEC-2

Fuente: Elaboración propia

A partir de estas variables y la información disponible sobre el efecto de las medidas de seguridad, se definieron los siguientes tipos de accidentes.

Tabla 10-3: Tipología de accidentes de tránsito

Tipo	Descripción
Accidente con fallecidos	Corresponde a un accidente con al menos 1 personas fallecida.
Accidente solo con lesionados	Corresponde a un accidente sin fallecidos, pero con al menos 1 persona herida grave, menos grave o leve.

Fuente: Elaboración propia

Considerando que para la estimación de los costos sociales de los accidentes se requiere estimar la accidentabilidad según las consecuencias en las personas y la propiedad, se utilizó la información de la base SIEC-2 para conocer la distribución de los accidentes en las ciudades analizadas.

Las tablas siguientes muestran los valores que describen los accidentes según sus consecuencias en las personas, tanto para accidentes con fallecidos como accidentes solo con lesionados.

Tabla 10-4: Número promedio de involucrados según gravedad de las lesiones: accidentes con fallecidos

Ciudad	Fallecidos	Heridos graves	Heridos menos graves	Heridos leves
Antofagasta	1,20	0,63	0,19	1,13
Punta Arenas	1,23	0,42	0,00	0,46
Santiago	1,05	0,20	0,06	0,36
Temuco	1,02	0,32	0,03	0,48
Valparaíso	1,07	0,36	0,09	0,66
Todos	1,06	0,25	0,07	0,43
Promedio simple	1,11	0,39	0,07	0,62

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10-5: Número promedio de involucrados según gravedad de las lesiones: accidentes con lesionados

Ciudad	Fallecidos	Heridos graves	Heridos menos graves	Heridos leves
Antofagasta	0,00	0,15	0,09	1,42
Punta Arenas	0,00	0,12	0,10	1,28
Santiago	0,00	0,17	0,09	1,06
Temuco	0,00	0,17	0,08	1,18
Valparaíso	0,00	0,16	0,09	1,34
Todos	0,00	0,17	0,09	1,13
Promedio simple	0,00	0,16	0,09	1,26

Fuente: Elaboración propia

b) Estimación de modelos econométricos de accidentabilidad

La literatura especializada reciente indica que el análisis estadístico de la información de accidentes no puede obviar el fenómeno de regresión a la media. La regresión a la media es un fenómeno que refleja la alta variabilidad que se puede producir en la tasa de accidentes en un lugar 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, no necesariamente porque se implemente una medida correctiva, sino simplemente porque el fenómeno vuelve a su media de forma natural.

En el desarrollo de esta metodología se siguieron los trabajos de Hauer (Hauer, 1997 y 2001⁹), quien desarrolló un enfoque estadístico que es el que se utiliza actualmente en EE.UU. y otros países para el análisis de seguridad vial.

El método involucra el uso de información de accidentes y de las vías en sección cruzada (combinando series de datos en el tiempo de distintas intersecciones o tramos) de manera de disponer de mayor número de datos. Con esta información se estiman modelos econométricos que relacionan los accidentes con las características físico-operativas de las vías. Luego, estos modelos pueden ser combinados con datos observados para obtener una estimación más confiable de los accidentes esperados en un cierto lugar. Los modelos estimados asumen una distribución binomial negativa para el número de accidentes ocurridos en un lugar en un determinado período. Este método recibe el nombre de “bayesiano empírico” para la estimación de accidentes.

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

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

donde η es la esperanza de la variable Y y μ es el parámetro de sobredispersión. Esta distribución se caracteriza porque si una variable la sigue entonces su varianza (V) es función de su esperanza (η) a través de la siguiente relación: $V = \eta(1 + \mu \cdot \eta)$.

En el caso del estudio de accidentes de tránsito, se tiene entonces una relación del tipo $V = acc(1 + \mu \cdot acc)$, donde acc es el número promedio de accidentes

⁹ 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.

al año. A medida que la información de accidentes tiene mayor dispersión mayor es el valor de μ .

La modelación de los accidentes implica relacionar el número de accidentes anuales (acc) 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 físicas del lugar, el flujo vehicular, etc.

$$acc = f(x_i, \beta_i, \mu)$$

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

El método EBM señala que la estimación del número de accidentes es el promedio ponderado del valor estimado con el MPA (acc_m) y los accidentes registrados en el lugar (acc_r). El ponderador en ese promedio (α) es una función del parámetro de sobredispersión (μ) y acc_m , como sigue:

$$\alpha = \frac{1}{1 + \mu \cdot acc_m}$$

Por lo tanto, la estimación bayesiana empírica del número de accidentes (acc_f) en una intersección está dada por:

$$acc_f = \alpha \cdot acc_m + (1 - \alpha) \cdot acc_r$$

De esta manera, si el modelo tiene asociado un valor alto del parámetro μ menor será el peso que se le asignará al MPA 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 con un modelo basado en esos datos.

Luego de un proceso de búsqueda de formas funcionales para los MPA, se seleccionaron las que entregaron mejores indicadores estadísticos. La formulación general de los modelos fue la siguiente para el caso de intersecciones:

$$acc = \alpha q_p^\kappa q_s^\eta e^{\sum_i \gamma_i x_i}$$

y la siguiente para tramos de vías:

$$acc = \sigma L^\theta q^\rho e^{\sum_i \tau_i x_i}$$

Donde

- acc : es el número esperado de accidentes totales por año.
- q_p, q_s, q : son el TMDA en la vía prioritaria, secundaria o del tramo, respectivamente, expresados en miles de veh/h.
- L : es la longitud del tramo de vía, expresada en kilómetros.
- x_i : son variables físico-operativas o factores de riesgo que describen la intersección.
- $\alpha, \kappa, \eta, \gamma_i, \sigma, \theta, \rho, \tau_i$: son parámetros a estimar. En particular, los exponentes de los flujos representan la elasticidad del número de accidentes con respecto al flujo vehicular prioritario, secundario o del tramo.

La siguiente tabla muestra los parámetros estimados en los dos MPA seleccionados para intersecciones. La estimación se realizó sobre una transformación logarítmica de los MPA con lo cual se generan funciones lineales en los parámetros a estimar. Para intersecciones resulta la siguiente relación:

$$\widehat{acc} = \log(\alpha) + \kappa \log(q_p) + \eta \log(q_s) + \sum_i \gamma_i x_i$$

Tabla 10-6: Modelos de predicción del número de accidentes anuales por tipo de intersección

Variable	No semaforizadas		Semaforizadas	
	Coficiente	Probabilidad	Coficiente	Probabilidad
CONSTANTE	-3,443	0,000	-1,452	0,000
ENTORNO	0,354	0,059	-0,299	0,018
TIPOCRUZ	1,751	0,000	0,407	0,144
TIPOT	1,155	0,009	0,262	0,422
LOG(qp)	0,634	0,000	0,379	0,001
LOG(qs)	0,188	0,074	0,430	0,000
LOG(SOBREDISPERSION)	0,545	0,001	0,132	0,284

Número de observaciones	423	415
Akaike	2,225	3,514
Promedio log verosimilitud	-1,096	-1,740
Seudo R ²	0,272	0,267

Fuente: Elaboración propia

Las variables explicativas utilizadas fueron las siguientes:

- LOG(CONSTANTE): logaritmo de la constante del modelo (α). Surge porque la estimación se realiza sobre el logaritmo del MPA (ver ecuación más arriba) para generar una especificación lineal en los parámetros.
- ENTORNO: vale 1 si el entorno del lugar (intersección) es céntrico y 0 en caso contrario.
- TIPOCRUZ: vale 1 si la intersección tiene 4 accesos y 0 en caso contrario.
- TIPOT vale 1 si la intersección tiene 3 accesos y 0 en caso contrario.
- LOG(qp): logaritmo de (TMDA/1000) en la vía prioritaria. Surge porque la estimación se realiza sobre el logaritmo del modelo para generar una especificación lineal en los parámetros.
- LOG(qs): logaritmo de (TMDA/1000) en la vía secundaria. Surge porque la estimación se realiza sobre el logaritmo del modelo para generar una especificación lineal en los parámetros.
- LOG(SOBREDISPERSION): logaritmo del parámetro de sobredispersión (μ) asociado al supuesto de distribución binomial negativa de los accidentes. Se cumple entonces que $V = acc(1 + \mu \cdot acc)$ donde V es la varianza y acc la media de los accidentes que ocurren anualmente en la intersección.

Los parámetros estimados presentan altos niveles de significancia (mayor a 90% en la mayoría de los casos). El signo de los parámetros correspondientes a los flujos es correcto pues dan cuenta de un incremento de los accidentes a medida que aumenta el flujo vehicular. Se observa además que las intersecciones en CRUZ tienen asociado un mayor número de accidentes que las intersecciones en T. 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 según el flujo a diferencia de las tasas constantes descritas anteriormente. En los modelos presentados los exponentes de las variables q_p y q_s son positivos y menores que 1. Esto significa que el número de accidentes crece a medida que aumenta el flujo vehicular pero a tasa decreciente.

Para tramos de vías la función lineal en los parámetros finalmente utilizada es la siguiente:

$$\widehat{acc} = \log(\sigma) + \theta \log(L) + \rho \log(q)$$

La siguiente tabla muestra los parámetros estimados.

Tabla 10-7: Modelo de predicción de accidentes-tramo de vía

Variable	Coeficiente	Error estándar	Estadístico Z	Probabilidad
LOG(CONSTANTE)	-0,960	0,394	-2,435	0,015
LOG(LONGITUD)	1,121	0,123	9,130	0,000
LOG(q)	0,416	0,154	2,700	0,007
LOG(SOBREDISPERSION)	1,515	0,148	10,211	0,000

Akaike	1,356
Promedio log verosimilitud	-0,674
Seudo R ²	0,355

Fuente: Elaboración propia

Las variables explicativas utilizadas fueron las siguientes:

- LOG(CONSTANTE): logaritmo de la constante del modelo (σ). Surge porque la estimación se realiza sobre el logaritmo del MPA (ver ecuación más arriba) para generar una especificación lineal en los parámetros.
- LOG(LONGITUD): logaritmo de la longitud del tramo analizado. Surge porque la estimación se realiza sobre el logaritmo del modelo para generar una especificación lineal en los parámetros.
- LOG(q): logaritmo de (TMDA/1000) en el tramo analizado. Surge porque la estimación se realiza sobre el logaritmo del modelo para generar una especificación lineal en los parámetros.
- LOG(SOBREDISPERSION): logaritmo del parámetro de sobredispersión (μ) asociado al supuesto de distribución binomial negativa de los accidentes. Se cumple entonces que $V = acc(1 + \mu \cdot acc)$ donde V es la varianza y acc la media de los accidentes que ocurren anualmente en la intersección.

c) Metodología de estimación de accidentes

Según la literatura especializada, la mejor estimación de cantidad de accidentes es aquella que surge de utilizar de forma ponderada el valor estimado por un MPA y la información histórica de que se disponga para el lugar analizado, método conocido como bayesiano empírico. Como se explicó, el peso del ponderador depende del parámetro de sobredispersión, que es distinto según tipo de intersección o tramo de vía, como se muestra a continuación.

Tabla 10-8: Cálculo de ponderador de accidentes método Bayesiano Empírico

Intersección	Parámetro estimado	$\mu = \exp(param)$	α
No semaforizada	0,513	1,670	$1/(1 + 1,670 \cdot acc_m)$
Semaforizada	0,091	1,095	$1/(1 + 1,095 \cdot acc_m)$
Tramo de vía	1,515	4,549	$1/(1 + 4,549 \cdot acc_m)$

Fuente: Elaboración propia

El análisis de los beneficios sociales de la reducción de accidentes requiere estimar el número de accidentes según la gravedad de sus consecuencias. En esta metodología se distinguen accidentes con fallecidos y accidentes con lesionados.

Para estimar el número de accidentes según consecuencias (c) se deben utilizar el enfoque bayesiano empírico con los MPA y la información histórica disponible sobre el número y la distribución de los accidentes según consecuencias.

Por lo tanto, la estimación final del número de accidentes (acc_f^c) en un lugar está dada por la siguiente expresión general:

$$acc_f^c = \alpha \cdot acc_m \cdot p_c + (1 - \alpha) \cdot acc_{r,c}$$

Donde acc_m es el número de accidentes estimado con el MPA, p_c es la proporción de accidentes con consecuencias c y $acc_{r,c}$ el promedio de accidentes con consecuencias c por año registrados en el lugar. La distribución de accidentes según consecuencias se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10-9: Distribución de accidentes con fallecidos y solo con lesionados

Ciudad	Fallecidos		Solo lesionados		Total
	Número	%	Número	%	
Antofagasta	79	2%	3496	98%	3.575
Punta Arenas	26	1%	2057	99%	2.083
Santiago	1.293	3%	47.819	97%	49.112
Temuco	63	1%	4331	99%	4.394
Valparaíso	152	2%	8839	98%	8.991
Total general	1.613	2%	66.542	98%	68.155

Fuente: Elaboración propia

Para fijar ideas, si el MPA estima 1 acc/año entonces el ponderador α vale 0,37 para intersecciones no semaforizadas y 0,48 para semaforizadas. Esto significa que el MPA tiene más peso en las intersecciones semaforizadas. Para tramos de vía, considerando 0,5 acc/año, el ponderador α vale 0,31. Por otro lado, en intersecciones o tramos con flujos más altos el ponderador se reduce, porque acc_m se incrementa, y en consecuencia se asigna más peso a los datos históricos.

El número de accidentes registrados por año con consecuencias c se obtiene de dividir el número total de casos registrados por el número de años con información (3 al menos), como se muestra en la siguiente relación:

$$acc_{r,c} = \frac{\sum_{i \in c} acc_i}{N}$$

donde:

$acc_{r,c}$: Tasa anual histórica de accidentes con consecuencias de tipo c : con fallecidos o sólo lesionados.

$\sum_{i \in C} acc_i$: Total de accidentes con consecuencias de tipo c .

N : Número de años con registro de accidentes.

10.4.2 Situación base

A continuación se presenta el procedimiento para estimar la accidentabilidad en la situación base. La estimación requiere el uso de los MPA y datos históricos de accidentabilidad.

a) Proyectos de transporte con efectos en la seguridad de tránsito

En proyectos de transporte con efectos en la seguridad, la accidentabilidad en la situación base se estima aplicando los MPA de tramos e intersecciones, considerando las características físico operativas de la situación base correspondiente de dicho proyecto de transporte, y la información histórica de accidentabilidad de cada lugar para generar la estimación final.

Sean M y N el número de tramos e intersecciones en el área de estudio entonces el número de accidentes con consecuencias c por año en la situación base estimados en cada lugar (i) es:

$$acc_{f,i}^{B,c} = \alpha_i \cdot acc_m^T(q_i^B, x_i^B) \cdot p_{c,i} + (1 - \alpha_i) \cdot acc_{r,c,i} \quad i = 1, \dots, M$$

$$acc_{f,i}^{B,c} = \alpha_i \cdot acc_m^I(q_{pi}^B, q_{si}^B, x_i^B) \cdot p_{c,i} + (1 - \alpha_i) \cdot acc_{r,c,i} \quad i = 1, \dots, N$$

Donde acc_m^T y acc_m^I son los MPA para tramos e intersecciones, respectivamente, $p_{c,i}$ es la proporción de accidentes con consecuencias c en el lugar i , $acc_{r,c,i}$ es el número de accidentes por año con consecuencias c registrados en el lugar y α_i es el ponderador respectivo del método bayesiano calculado con el valor estimado por el MPA.

En cada lugar se deben utilizar los flujos (TMDA) y características físico-operativas de la situación base del proyecto de transporte, representadas por las variables q_i^B , q_{pi}^B , q_{si}^B , x_i^B .

Los valores finales del número de accidentes así estimados se comparan con los que se obtienen con las características físico operativas de la situación con proyecto, como se explica más adelante.

b) Proyectos de seguridad de tránsito

En proyectos de seguridad de tránsito la estimación de la accidentabilidad en la situación base se realiza con el mismo procedimiento descrito para el caso de los proyectos de transporte. La principal diferencia es que en proyectos de seguridad el número de intersecciones o tramos involucrados es probablemente menor.

10.4.3 Situación con proyecto

a) Proyectos de transporte con efectos en la seguridad de tránsito

En proyectos de transporte con efectos en la seguridad, los efectos en la accidentabilidad en la situación con proyecto se estiman aplicando los MPA de tramos e intersecciones considerando las características físico operativas de dicha situación, lo cual puede complementarse con la aplicación de tasas de reducción de accidentes si el proyecto incluye medidas específicas en esa materia.

Sean M y N el número de tramos e intersecciones en el área de estudio entonces el número final de accidentes con consecuencias c por año estimados en la situación con proyecto en cada tramo o intersección está dado por las siguientes expresiones:

$$acc_{f,i}^{P,c} = \alpha_i \cdot acc_m^T(q_i^P, x_i^P) \cdot p_{c,i} + (1 - \alpha_i) \cdot acc_{r,c,i} \quad i = 1, \dots, M$$

$$acc_{f,i}^{P,c} = \alpha_i \cdot acc_m^I(q_{pi}^P, q_{si}^P, x_i^P) \cdot p_{c,i} + (1 - \alpha_i) \cdot acc_{r,c,i} \quad i = 1, \dots, N$$

Donde acc_m^T y acc_m^I son los MPA para tramos e intersecciones, respectivamente, $p_{c,i}$ es la proporción de accidentes con consecuencias c en el lugar i , $acc_{r,c,i}$ es el número de accidentes por año con consecuencias c registrados en el lugar y α_i es el ponderador respectivo del método bayesiano calculado con el valor estimado por el MPA.

En cada lugar se deben utilizar los flujos (TMDA) y características físico-operativas de la situación con proyecto, representadas por las variables q_i^P , q_{pi}^P , q_{si}^P , x_i^P .

Si el proyecto de transporte incluye medidas específicas de seguridad en determinados tramos o intersecciones entonces se deben aplicar en esos lugares factores de reducción de accidentes de tránsito sobre los accidentes estimados con las características físico-operativas de la situación con proyecto del proyecto de transporte. Los factores de reducción se presentan en la Tabla 10-10.

b) Proyectos de seguridad de tránsito

En proyectos de seguridad de tránsito los efectos en la accidentabilidad se estiman aplicando factores de reducción del número de accidentes a los accidentes estimados para la situación base.

Dada la carencia de estudios orientados a estimar el efecto de las medidas de seguridad desarrollados en el país, sólo cabe recurrir a la experiencia internacional para definir esos efectos. Por lo tanto, se identificó un conjunto de medidas que tienen relación con la vialidad urbana y que la experiencia internacional muestre que tienen una reducción importante de la accidentabilidad.

En la tabla siguiente se detallan los efectos de las medidas de seguridad de tránsito seleccionadas.

Tabla 10-10: Factores de reducción de accidentes

Tipo de medida	Medida	Porcentaje de reducción de accidentes		
		Con fallecidos	Con lesionados	Totales
Canalización de movimientos vehiculares en intersecciones	Pista viraje izquierda: intersección en T		-17	-18
	Pista viraje derecha: intersección en T		-7	+3
	Pista viraje izquierda: intersección en Cruz		-24	-31
	Pista viraje derecha: intersección en Cruz		-7	+3
Rotonda	Reemplazo de intersección de T o Cruz por rotonda	-66	-46	-36
Mejoramientos de la sección transversal	Instalación de mediana		-15	-8
Semaforización de intersecciones	Semaforización de intersección en T		-15	
	Semaforización de intersección en Cruz		-30	
Semaforización de cruces peatonales	Cruce peatonal semaforizado			-23
Reductores de velocidad	Resalto		-41	
	Bandas alertadoras		-33	-20
Facilidades para peatones	Cruce peatonal a nivel de acera			-42 (*)
	Iluminación de cruce peatonal			-63
Demarcación y señalización	Líneas de borde		-3	
	Línea central		-1	
	Línea divisoria de pistas		-18	
	Líneas de borde y tachas			-47
	Líneas de borde y demarcación en curva		-19	
	Tachas y demarcación en curva		-45	
	Líneas de borde y línea central		-24	
	Líneas de borde, línea central y postes delineadores		-45	

(*) Se refiere a accidentes con peatones

Fuente: The handbook of road safety measures. Second Edition. Emerald.

La aplicación de estos factores de reducción al número de accidentes en la situación base permite determinar inmediatamente la variación de la accidentabilidad generada por el proyecto de seguridad de tránsito.

En efecto, la variación del número de accidentes con consecuencias c está dada por la siguiente relación según el lugar corresponda a un tramo o una intersección:

$$acc_{f,i}^{P,c} = acc_{f,i}^{B,c} \cdot (1 + FR_i^c)$$

donde FR_i^c es el factor de reducción del número de accidentes con consecuencias c aplicable al lugar i según la medida de seguridad considerada allí, ver Tabla 10-10.

10.4.4 Estimación de la variación de accidentes

La variación de los accidentes con consecuencias c entre las situaciones base y con proyecto se realiza a partir de la estimación de su número en ambas situaciones en un determinado lugar i :

$$\Delta acc_i^c = acc_{f,i}^{P,c} - acc_{f,i}^{B,c}$$

Esta variación puede ser negativa o positiva y es válida para los proyectos de transporte con efecto en la accidentabilidad como para proyectos de seguridad de tránsito. La variación corresponde al cambio en el número de accidentes por año con consecuencias c asociado a un determinado corte temporal. La reducción en años intermedios debe ser estimada por interpolación.

10.5 Costo social de los accidentes de tránsito

10.5.1 Aspectos generales

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

La metodología de estimación de beneficios por accidentes (ver sección 10.6) se basa en la estimación de la reducción en el número de accidentes en la vía o área vial urbana intervenida, basada en dos tipos de accidentes: accidentes con fallecidos y accidentes con solo lesionados. Luego, para estimar el valor social de los accidentes se debe conocer el costo promedio de los accidentes de cada uno de estos dos tipos.

Para determinar estos costos se pueden aplicar dos enfoques: el primero, cuando no se dispone de mayor información puede considerarse el valor medio a nivel nacional que fue estimado en el presente estudio (ver Capítulo 8); el segundo, cuando se dispone de información detallada, es el de determinar los valores promedio basados directamente en la caracterización de los accidentes existente en el área de proyecto.

En los acápites siguientes se describen ambos enfoques.

10.5.2 Precio social promedio de accidentes a nivel nacional

En este caso el precio social promedio de los accidentes con fallecidos y solo con lesionados son valores únicos para todo el país. En la tabla siguiente se entregan estos valores para diciembre de 2013.

Tabla 10-11: Costo social promedio por accidentes de tránsito urbanos (\$ de diciembre de 2013/acc)

Accidentes con fallecidos	Accidentes solo con lesionados
120.611.722	4.602.476

Fuente: Elaboración propia

Estos valores deben ser anualmente actualizados y publicados por las autoridades correspondientes.

10.5.3 Cálculo del precio social promedio de accidentes a nivel local

La segunda opción es determinar el valor promedio de los accidentes a partir del vector social unitario de costos sociales de accidentes y la caracterización específica de los accidentes en el área de proyecto.

Para simplificar el cálculo, se propone utilizar algunos parámetros constantes obtenidos en el presente estudio, que se asume no varían significativamente.

El costo social promedio de un accidente queda dado por las siguientes componentes:

- Costo social asociado a las víctimas según su gravedad
- Costo social por daños materiales a vehículos

Para determinar éstos costos es necesario trabajar separadamente la base de datos de accidentes entre accidentes con fallecidos y accidentes solo con lesionados. Los accidentes sin lesionados deben ser excluidos del análisis.

El costo social asociados a las víctimas queda dado por las tasas de participación promedio por accidente, sin importar el tipo de accidente que se trate (atropello, choque, colisión, etc.), multiplicados por el valor social por fallecido/lesionado, de acuerdo con los siguiente.

$$PL_i^c = CF \cdot NF_i^c + CLG \cdot NLG_i^c + CLM \cdot NLM_i^c + CLL \cdot NLL_i^c$$

Donde:

PL_i^c : Precio social promedio por lesionados de los accidentes con consecuencias c en el lugar i , en \$/acc

CF : Costo de un fallecido, en \$/fallecido

NF_i^c : Cantidad promedio de fallecidos por accidente de consecuencias c en el lugar i , en fallecidos/acc

CLG : Costo de un lesionado grave, en \$/lesionado

NLG_i^c : Cantidad promedio de lesionados graves por accidente de consecuencias c en el lugar i , en lesionados/acc

CLM : Costo de un lesionado menos grave, en \$/lesionado

NLM_i^c : Cantidad de promedio lesionados menos graves por accidente de consecuencias c en el lugar i , en lesionados/acc

CLL : Costo de un lesionado leve, en \$/lesionado

NLL_i^c : Cantidad de promedio lesionados leves por accidente de consecuencias c en el lugar i , en lesionados/acc

Los valores de las tasas de fallecidos/lesionados involucrados por accidente se determinan de acuerdo a la siguiente expresión:

$$N_{ij}^c = \frac{\sum v_{ij}^c}{NA_i^c}$$

Donde,

N_{ij}^c : Cantidad promedio de víctimas por accidente de consecuencias c en el lugar i , y con j : nivel de lesión (fallecido, grave, menos grave, leve).

NA_i^c : Número de accidentes de consecuencias c en el lugar i en la situación actual (al menos 3 años)

v_{ij}^c : Número de víctimas por accidente de consecuencias c en el lugar i , y con j : nivel de lesión (fallecido, grave, menos grave, leve).

En la tabla siguiente se entregan los costos sociales unitarios asociados a víctimas.

Tabla 10-12: Costo social unitario según tipo de lesión (\$ de diciembre de 2013/persona)

Componente	Lesión			
	Fatal	Grave	M. Grave	Leve
Tratamiento lesionados	368.818	2.035.563	271.997	91.553
Gastos administrativos	2.224.248	1.250.090	644.355	617.925
Capital humano	102.170.441	-	-	-
Total	104.763.508	3.285.652	916.352	709.478

Fuente: Elaboración propia

Los valores anteriores deben ser actualizados anualmente por las autoridades correspondientes.

Para determinar el costo social por daños materiales a vehículos, se debe proceder de forma similar a lo anterior, sin embargo, en este caso también es necesario agregar el tipo de accidente.

Para cada tipo de accidente, es decir: atropello, caída, choque, colisión, volcadura, se debe establecer la tasa de participación de vehículos (separadamente vehículos livianos y pesados) y multiplicarlas por el valor social unitario asociado al tipo de vehículo/tipo de accidente. Es decir:

$$CMD_{it} = CVL_t \cdot NVL_{it} + CVP_t \cdot NVP_{it}$$

Donde,

CMD_{it} : Costo social promedio por daños materiales a los vehículos en los accidentes tipo t en el lugar i , en \$/acc

CVL_t : Costo unitario por daños materiales en vehículos livianos en accidentes tipo t en \$/veh

NVL_{it} : Cantidad promedio de vehículos livianos participantes en accidentes tipo t en el lugar i , en n° de vehículos/acc

CVP_t : Costo unitario por daños materiales en vehículos pesados en accidentes tipo t en \$/veh

NVP_{it} : Cantidad promedio de vehículos pesados participantes en accidentes tipo t en el lugar i , en n° de vehículos/acc

En la tabla siguiente se entregan los costos unitarios por tipo de accidente para cada tipo de vehículo.

Tabla 10-13: Costo medio por daños materiales según tipo de accidente (\$ de diciembre 2013/vehículo)

Vehículo	Tipo de accidentes				
	Atropello	Caída	Choque	Colisión	Volcadura
Livianos	525.507	0	2.089.695	1.926.299	5.053.903
Pesados	261.145	0	5.144.781	7.730.340	10.145.628

Fuente: Elaboración propia

Estos costos unitarios deben ser actualizados anualmente por las autoridades correspondientes.

Luego, para determinar el costo promedio por daños materiales en accidentes con fallecido y solo con lesionados, se debe determinar la distribución de los accidentes en cada caso según su tipología. Es decir, del total de los accidentes con fallecidos determinar el porcentaje que corresponde a cada tipo de accidente (atropello, caída, choque, colisión, volcadura). Luego, se aplica la siguiente fórmula.

$$PDM_i^c = \sum_t CDM_{it} \cdot Pr_{it}^c$$

donde,

PDM_i^c : Precio social promedio por daños materiales a los vehículos en accidentes con consecuencias c en el lugar i , en \$/acc

CDM_{it} : Costo social promedio por daños materiales a los vehículos en los accidentes tipo t en el lugar i , en \$/acc (calculado previamente)

Pr_{it}^c : Proporción de los accidentes del tipo t con consecuencias c en el lugar i , en tanto por uno.

Finalmente, el precio social promedio de un accidente con consecuencias c en el lugar i .

$$P_i^c = PL_i^c + PDM_i^c$$

10.6 Estimación de beneficios de proyectos de seguridad de tránsito

La estimación de los beneficios de los proyectos de seguridad de tránsito se desarrolla siguiendo las siguientes etapas:

Paso 1: Estimación del número de accidentes en situación base

El método de estimación del número de accidentes en la situación base sigue la metodología desarrollada en la sección 10.4. Esta metodología se resume en las siguientes relaciones según se trate de tramos de vías o intersecciones:

$$acc_{f,i}^{B,c} = \alpha_i \cdot acc_m^T(q_i^B, x_i^B) \cdot p_{c,i} + (1 - \alpha_i) \cdot acc_{r,c,i} \quad i = 1, \dots, M$$

$$acc_{f,i}^{B,c} = \alpha_i \cdot acc_m^I(q_{pi}^B, q_{si}^B, x_i^B) \cdot p_{c,i} + (1 - \alpha_i) \cdot acc_{r,c,i} \quad i = 1, \dots, N$$

Paso 2: Estimación del número de accidentes en situación con proyecto

El método de estimación del número de accidentes en la situación con proyecto es el desarrollado en el punto 10.4 y debe ser consistente con el tipo de proyecto analizado.

Para proyectos de transporte con efectos en la reducción de accidentes se tienen las siguientes relaciones para estimar los accidentes según se trate de tramos de vías o intersecciones:

$$acc_{f,i}^{P,c} = \alpha_i \cdot acc_m^T(q_i^P, x_i^P) \cdot p_{c,i} + (1 - \alpha_i) \cdot acc_{r,c,i} \quad i = 1, \dots, M$$

$$acc_{f,i}^{P,c} = \alpha_i \cdot acc_m^I(q_{pi}^P, q_{si}^P, x_i^P) \cdot p_{c,i} + (1 - \alpha_i) \cdot acc_{r,c,i} \quad i = 1, \dots, N$$

Si el proyecto incluye medidas específicas de seguridad de tránsito entonces se debe aplicar adicionalmente un factor de reducción al número final de accidentes estimado con las relaciones recién indicadas, de manera análoga a los proyectos de seguridad de tránsito.

En proyectos específicos de seguridad de tránsito el número de accidentes en la situación con proyecto se estima como sigue:

$$acc_{f,i}^{P,c} = acc_{f,i}^{B,c} \cdot (1 + FR_i^c)$$

donde FR_i^c es el factor de reducción del número de accidentes con consecuencias c aplicable al lugar i según la medida de seguridad considerada allí, ver Tabla 10-10.

Paso 3: Cálculo de la variación de la accidentabilidad

El cálculo de la variación de la accidentabilidad entre las situaciones sin y con proyecto por año se estima mediante la siguiente relación para un determinado corte temporal.

$$\Delta acc_i^c = acc_{f,i}^{P,c} - acc_{f,i}^{B,c}$$

La variación del número los accidentes (o los beneficios) para años intermedios se estima por interpolación o extrapolación en el horizonte de evaluación.

Paso 4: Estimación de beneficios sociales por variación de la accidentabilidad

Los beneficios sociales anuales del proyecto se estiman con el costo social unitario de los accidentes evitados por año multiplicado por el número y tipo de accidentes evitados en el mismo período. En el último año de vida útil del proyecto se debe agregar el valor residual del proyecto.

En consecuencia, los beneficios asociados a la variación de la accidentabilidad de tipo c en un lugar i en un determinado corte temporal está dado por:

$$Bacc_i^c = \Delta acc_i^c \cdot P_i^c$$

Donde p_i^j es el precio social promedio de los accidentes con consecuencias c en el lugar i . Si no se dispone de información suficiente, se pueden utilizar los valores de la Tabla 10-13 y la Tabla 10-14.

El beneficio total por variación de la accidentabilidad se obtiene sumando los beneficios asociados a accidentes con fallecidos y con lesionados.

Paso 5: Estimación de beneficios sociales totales

Los beneficios económicos anuales totales por concepto de variación de la accidentabilidad se deben sumar, si corresponde, a los beneficios anuales

generados en otros ámbitos, como los ahorros de tiempo de viaje de las personas y de la carga y el ahorro de costos de operación de los vehículos. La suma de todos los beneficios por período, al ser comparada con los costos por período, se utiliza para obtener los indicadores de rentabilidad del proyecto.

10.7 Estimación de costos sociales de proyectos de seguridad vial en áreas urbanas

Esta metodología de evaluación social busca incorporar los impactos, normalmente beneficios, de proyectos de transporte urbano y mejoramientos viales que tienen efectos en los niveles de seguridad de tránsito, así como proyectos específicos que buscan reducir la accidentalidad. El objetivo es reconocer que en la evaluación de los proyectos de transporte que se ejecutan en el ámbito urbano, si bien existen efectos sobre la ocurrencia de accidentes, no se consideren efectos en la accidentabilidad debido a la falta de una metodología para hacerlo. Tanto la experiencia internacional proveniente de manera preferente del mundo desarrollado, como la experiencia en Chile, muestran que hay diferencias a veces importantes en las tasas de accidentes cuando se hace una intervención de transporte urbano, aun cuando sea en una modalidad de transporte no vial (como sería el caso del Metro), o un aumento de capacidad vial (nueva vía o ensanches), mejoramiento de un tramo o nudo vial, o cuando se adoptan medidas específicas de seguridad en sectores riesgosos. El no considerarlas introduce un sesgo en las evaluaciones de proyectos de transporte como los mencionados.

En lo que corresponde al desarrollo de esta metodología, interesan como costos de inversión aquellos que corresponden a medidas específicas de seguridad vial que van más allá de un proyecto vial o medidas que se intenta justificar por sí mismas, sin necesidad de formar parte integrante de un proyecto vial de cambio de estándar.

10.7.1 Metodología de cálculo

El objetivo de establecer el costo social de medidas de seguridad de tránsito, de manera similar a otras variables de inversión, es contar con valores que reflejen el verdadero costo para la sociedad de implementar dichas medidas.

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

- Cálculo del costo privado de las medidas de seguridad.
- Definición de los factores de corrección de los costos privados de las medidas de seguridad.

- Cálculo del costo social de las medidas de seguridad.

10.7.2 Costos privados y sociales de elementos de seguridad

Considerando los tipos de medidas de seguridad incorporadas a esta metodología se definieron un conjunto de casos tipo para los que se cubicaron las principales partidas de las obras necesarias en cada caso.

En términos generales se buscó definir un número reducido de casos pero que cubren parte importante de las situaciones que se observan en áreas urbanas. Para esto se consideraron calzadas simples y dobles, intersecciones en T y en Cruz, semaforizadas o de prioridad.

Las cubicaciones se realizaron incluyendo, según corresponda, todos los elementos que la normativa vigente exige (señalización y demarcación, anchos mínimos) y materiales de buena calidad y durabilidad.

Los casos tipo analizados fueron los siguientes:

- Calzada simple: 2 pistas (7 m) unidireccionales o bidireccionales, considera un tramo de 100 m.
- Calzada doble: 4 pistas (14 m) bidireccionales, 2 pistas/sentido, considera un tramo de 100 m.
- Intersecciones en T-A: 3 accesos, cada uno con calzadas simples de 2 pistas (7 m), considera 50 m por acceso.
- Intersecciones en T-B: 3 accesos, cada uno con calzadas dobles de 4 pistas (14 m), considera 50 m por acceso.
- Intersección en Cruz-A: 4 accesos, cada uno con calzadas simples de 2 pistas (7 m), considera 50 m por acceso.
- Intersección en Cruz-B: 4 accesos, cada uno con calzadas dobles de 4 pistas (14 m), considera 50 m por acceso.

La cubicación de las obras se hizo bajo los siguientes supuestos:

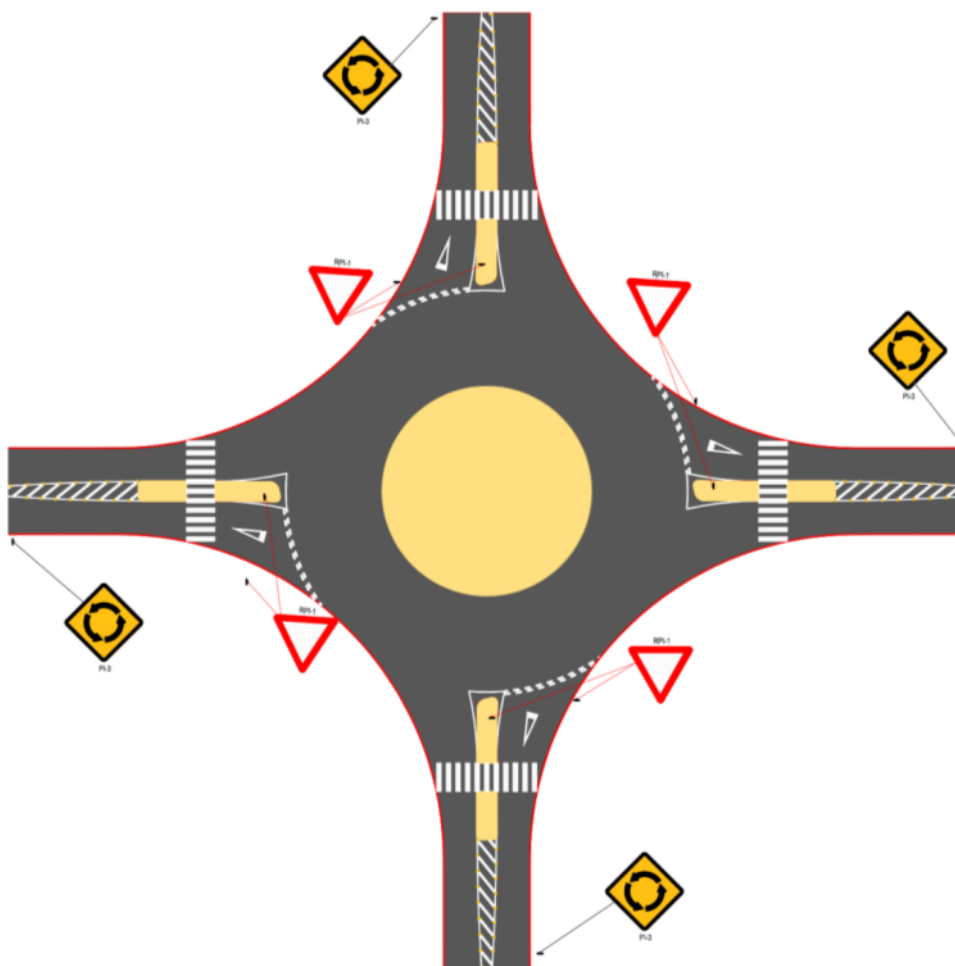
- No se requieren expropiaciones.
- Los pavimentos existentes están en buen estado de conservación.
- Existe factibilidad de conexión eléctrica para los dispositivos que lo requieran.
- Los pavimentos nuevos fueron dimensionados para vías colectoras.

Los valores que se reportan en la Tabla 10-14 se refieren al costo de provisión e instalación (materiales y mano de obra) de cada medida definida. No incluyen por, lo tanto, el costo los estudios de ingeniería necesarios, desarrollos de especificaciones técnicas, entre otros costos adicionales asociados.

Los valores privados fueron transformados en valores sociales utilizando los factores de corrección correspondientes a las distintas partidas cubicadas. En

anexo digital se muestra el detalle de ese proceso. Se entregan también esquemas que ilustran las medidas propuestas, un ejemplo de ellos se muestra a continuación.

Figura 10-1: Ejemplo de representación de medidas de seguridad: caso rotonda en intersección con 1 pista/sentido



Fuente: Elaboración propia.

Los costos privados y sociales estimados deben ser considerados como valores referenciales, que deben ser utilizados si no existe información específica del proyecto en estudio.

Tabla 10-14: Costo privado y social de medidas de seguridad de tránsito

Tipo	Medida	Descripción	Costo (UF)-pavimento hormigón		Costo (UF)-pavimento asfalto	
			Privado	Social	Privado	Social
Canalización de flujos vehiculares	A.1.1	Acceso de 2 pistas prioridad, generación pista de viraje a la izquierda (50 m)	721	567	721	567
	A.1.2	Acceso de 2 pistas semaforizado, generación pista de viraje a la izquierda (50 m)	725	570	737	570
	A.1.3	Acceso de 2 pistas semaforizado, generación pista de viraje a la derecha (50 m)	749	588	790	620
Rotonda	A.2.1	Intersección en Cruz-A	7.704	6.046	7.792	6.115
	A.2.2	Intersección en Cruz-B	10.511	8.248	10.722	8.274
Mediana	A.3.1	Mediana con solera	512	403		
Semaforización vehicular	A.4.1	Intersección en T-A	1.588	1.257		
	A.4.2	Intersección en T-B	2.073	1.641		
	A.4.3	Intersección en Cruz-A	1.702	1.348		
	A.4.4	Intersección en Cruz-B	2.374	1.879		
Semaforización peatonal	A.5.1	Cruce a mitad de cuadra en calzada doble (con isla peatonal nueva)	1.130	895		
	A.5.2	Cruce a mitad de cuadra en calzada doble(mediana existente)	1.196	947		
Resalto reductor de velocidad	A.6.1	Calzada simple	284	226		
	A.6.2	Calzada doble	417	332		
Bandas alertadoras	A.7.1	Calzada simple	76	60		
	A.7.2	Calzada doble	82	65		
Cruce peatonal a nivel de acera	A.8.1	Intersección prioridad en T-A	359	286		
	A.8.2	Intersección prioridad en Cruz-A	505	402		
Iluminación de cruces peatonales	A.9.1	Intersección prioridad en T-A	356	278		
	A.9.2	Intersección prioridad en T-B	688	537		
	A.9.3	Intersección prioridad en Cruz-A	522	408		
	A.9.4	Intersección prioridad en Cruz-B	892	697		
Demarcación y señalización reglamentaria	A.10.1	Calzada simple	98	78		
	A.10.2	Calzada doble	141	112		
	A.10.3	Intersección prioridad en T-A	230	182		
	A.10.4	Intersección prioridad en T-B	334	265		
	A.10.5	Intersección prioridad en Cruz-A	242	192		

Tipo	Medida	Descripción	Costo (UF)-pavimento hormigón		Costo (UF)-pavimento asfalto
	A.10.6	Intersección prioridad en Cruz-B	406	323	
	A.10.7	Intersección semaforizada en T-A	209	166	
	A.10.8	Intersección semaforizada en T-B	147	117	
	A.10.9	Intersección semaforizada en Cruz-A	128	102	
	A.10.10	Intersección semaforizada en Cruz-B	183	146	

Fuente: Elaboración propia.

10.8 Criterios de rentabilidad social

Los criterios de rentabilidad social que se recomienda utilizar, para el caso de proyectos de transporte urbano o mejoramientos viales con impactos en la seguridad vial, son los mismos que se utilizan en la evaluación social de proyectos de cada uno de esos casos, principalmente el VAN, la TIR, relación B/C y el IVAN.

En el caso de la evaluación de medidas específicas de seguridad, en particular de aquellas de corta vida útil, se recomienda para la toma de decisiones utilizar el criterio de la Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI), estimándose en ese caso beneficios sólo para el primer año, bajo el supuesto de que estos sin duda crecerán con el tiempo. Sin perjuicio de ello, se pueden estimar los otros indicadores (VAN, TIR) para efecto de comparar este tipo de proyectos con otras alternativas de mejoras viales.

11 ELABORACIÓN DE UNA GUÍA DE RECOMENDACIONES METODOLÓGICAS PARA EL TRATAMIENTO DE ACCIDENTES VIALES URBANOS

A partir de la metodología descrita en el capítulo anterior se elaboró una guía de recomendaciones metodológicas para el tratamiento de los accidentes viales urbanos. El objetivo es que esa guía sirva de base para que la autoridad elabore una metodología oficial. La guía se entrega como anexo a este informe.