



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS FERROVIARIOS CONSIDERANDO  
EXTERNALIDADES, APLICADO AL PROYECTO DE TRANSPORTE DE PASAJEROS  
SANTIAGO – VALPARAÍSO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

FRANCISCO IGNACIO ROJAS BALMACEDA

PROFESOR GUÍA  
JOSÉ MIGUEL CRUZ GONZÁLEZ

PROFESORES INTEGRANTES  
EDUARDO CONTRERAS VILLABLANCA  
GERARDO DÍAZ RODENAS  
ÓSCAR SAAVEDRA ALLENDES

SANTIAGO DE CHILE  
2016

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil Industrial  
POR: Francisco Ignacio Rojas Balmaceda  
FECHA: 04/03/2016  
PROFESOR GUÍA: José Miguel Cruz González

## EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS FERROVIARIOS CONSIDERANDO EXTERNALIDADES, APLICADO AL PROYECTO DE TRANSPORTE DE PASAJEROS SANTIAGO – VALPARAÍSO

El presente trabajo consiste en realizar una evaluación social en base a un estudio de perfil del proyecto ferroviario Santiago – Valparaíso considerando externalidades. Se trabajó en conjunto con la Empresa de Ferrocarriles del Estado (EFE), en su calidad de promotora del tema de memoria a tratar.

En la actualidad, la práctica sugiere que las externalidades no están adecuadamente consideradas en el caso chileno de acuerdo a la metodología actual del Ministerio de Desarrollo Social (MDS), y por consiguiente, la hipótesis es que los beneficios sociales del transporte ferroviario tampoco han de estar correctamente valorizados en los proyectos evaluados.

La metodología utilizada corresponde a la contenida en el documento “Evaluación social de inversiones públicas: enfoques alternativos y su aplicabilidad para Latinoamérica”, elaborada por el Profesor Eduardo Contreras. En particular, el trabajo de memoria se abordó desde un enfoque de eficiencia. Además se revisó exhaustivamente bibliografía relacionada con la medición de externalidades como es el caso de INFRAS/IWW [2], analizando el tratamiento dado para ser aplicados a la realidad chilena.

A solicitud de EFE, se evaluó las externalidades: contaminación del aire, cambio climático y accidentabilidad, las que fueron agregadas a una evaluación social ya existente con el fin de determinar si las variaciones de VAN son significativas y la incidencia de estas externalidades en rentabilidad del proyecto.

Al respecto se concluye que si bien estimar estas externalidades es importante para establecer un VAN social más ajustado a la realidad, no necesariamente resultan determinantes en la rentabilidad de un proyecto, incluso pueden disminuir su rentabilidad dependiendo de los supuestos utilizados. En los resultados se obtuvo una variación máxima de 1,24% del VAN respecto a una externalidad en particular, la cual es menor a lo esperado dadas las premisas previas al desarrollo de este trabajo.

Finalmente se realizó un análisis de riesgo que determinó un riesgo global para el proyecto de 6,56%, siendo las variables demanda, plazos de ejecución, inversión y valor de costo de la vida las más determinantes.

## DEDICATORIA

A Rosario y Catalina  
Por haber creído en mí  
Siempre

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis sinceros agradecimientos a todas las personas que me han apoyado en las distintas etapas de mi vida.

Gracias a mi familia, en particular a mi madre, Rosario, que con su amor incondicional siempre me estimuló a sacar lo mejor de mí, siendo imprescindible para superar las situaciones más exigentes.

A mis amistades, de quienes siento gran gratitud por el apoyo recibido en múltiples oportunidades. Especialmente de: Rubí, Natalia, Javier y Felipe.

A mis compañeros de Trabajo de Título, Catalina y Sebastián, por su compañerismo y colaboración.

A los profesores de mi comisión y sección: Eduardo Contreras, José Miguel Cruz, Óscar Saavedra, Gerardo Díaz, Manuel Díaz y Raúl Uribe, por sus conocimientos, orientaciones y motivaciones que fueron fundamentales en el desarrollo de este trabajo.

Además agradezco la excelente disposición de Viviana Vergini y personal de EFE ante cada requerimiento de información.

Sin duda que las experiencias vividas en mi paso por la Escuela de Ingeniería serán un gran aporte para mi vida profesional y personal. Destaco las amistades forjadas en la Facultad: Natalia, Ximena, Camila, Mauricio, Marcy, Daniel y Manuel. En especial gracias a quienes siempre estuvieron hasta las 23:59 y nunca fallaron.

También agradezco las oportunidades y buenos momentos vividos en Biblioteca Central, en especial a Rosita, Loreto y Mariana.

E infinitas gracias a Catalina, haber llegado a esta instancia también lleva implícito tu dedicación, comprensión y esfuerzo, gracias por hacerme tan feliz y ser la mayor motivación para terminar esta etapa.

## TABLA DE CONTENIDO

1. ANTECEDENTES GENERALES .....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN .....	4
3. OBJETIVOS .....	6
3.1. Objetivo General .....	6
3.2. Objetivos Específicos .....	6
4. METODOLOGÍA .....	6
5. MARCO CONCEPTUAL .....	7
5.1. Análisis Costo - Beneficio.....	7
5.2. Impactos.....	8
5.3. Metodología para la Evaluación Socioeconómica de Proyectos de Transporte Ferroviario.....	9
6. ALCANCES Y RESULTADOS ESPERADOS .....	13
7. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EN ESTUDIO .....	14
8. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE METODOLOGÍAS DE EXTERNALIDADES.....	20
8.1. Accidentabilidad .....	20
8.1.1. Ministerio de Desarrollo Social .....	20
8.1.2. Metodología de Rizzi .....	23
8.1.3. Modelo de Jansson.....	25
8.1.4. INFRAS .....	26
8.2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA .....	27
8.2.1. INFRAS .....	28
8.2.2. Ministerio del Medio Ambiente.....	31
8.3. Cambio Climático .....	34
8.3.1. INFRAS .....	34
8.3.2. Rizzi.....	35
8.3.3. Barbero.....	35
8.3.4. Bellera .....	36
8.3.5. MAPS .....	39
8.4. Cálculo del Valor de la Vida .....	40
9. METODOLOGÍAS PROPUESTAS.....	45
9.1. Accidentabilidad .....	45

9.2.	Contaminación Atmosférica .....	45
9.3.	Cambio Climático .....	46
10.	APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS Y RESULTADOS .....	47
10.1.	Accidentabilidad.....	50
10.1.1.	Procedimiento de Cálculo Accidentabilidad.....	50
10.1.2.	Resultados Accidentabilidad .....	54
10.2.	Cambio Climático.....	56
10.2.1.	Procedimiento De Cálculo Cambio Climático .....	56
10.2.2.	Resultados Cambio Climático .....	58
10.3.	Contaminación Atmosférica .....	59
10.3.1.	Procedimiento de Cálculo Contaminación Atmosférica.....	59
10.3.2.	Resultados Contaminación Atmosférica.....	63
10.4.	Cuadro Resumen del Impacto de las Externalidades .....	65
11.	ANÁLISIS DE RIESGO .....	66
12.	ANÁLISIS Y DISCUSIONES .....	69
13.	CONCLUSIONES GENERALES .....	75
14.	GLOSARIO.....	79
15.	BIBLIOGRAFÍA.....	80
16.	ANEXOS .....	83
16.1.	Tipos de Proyectos Ferroviarios .....	83
16.2.	Demanda Proyectada Servicio de Pasajeros Santiago-Valparaíso .....	85
16.3.	Tabla Dosis - Respuesta.....	86
16.4.	Participación de Vehículos en Accidentes .....	87
16.5.	Proyección de la Generación Eléctrica en Chile al 2050, MAPS .....	88
16.6.	Factores de Emisión para Combustibles Utilizados en Chile.....	89
16.7.	Tabla de Estudios del Valor Estadístico de la Vida.....	90
16.8.	Tablas de Infraestructura y Factores de Reducción de Accidentes .....	92
16.9.	Tabla de Resultados Accidentabilidad .....	94
16.10.	Tabla de Resultados Cambio Climático.....	95
16.11.	Tablas de Incidencia de la Contaminación en la Salud SECTRA .....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de Proyectos Ferroviarios según Impacto en la Demanda. Fuente: Metodología MDS.....	9
Tabla 2: Tabla 2: Costos de inversión. Fuente: Elaboración propia a partir de información de metodología de MDS .....	10
Tabla 3: Costos de operación y mantenimiento ferroviario. Fuente: Elaboración propia a partir de información de metodología de MDS .....	11
Tabla 4 Costos de operación y mantenimiento vial. Fuente: Elaboración propia a partir de información de metodología de MDS .....	11
Tabla 5: Costos de accidentes. Fte: Elaboración propia a partir de información de metodología de MDS.....	11
Tabla 6: Parámetros generales. Fuente EFE [31]. .....	16
Tabla 7: Costos de Mantención. Fuente EFE [31]......	16
Tabla 8: Costos de Operación. Fuente EFE [31]......	16
Tabla 9: Inversiones y Estudios. Fuente EFE [31]......	17
Tabla 10: Otras variables relevantes. Fuente EFE [31]......	17
Tabla 11: Resultados VAN Proyecto. Fuente EFE [31]. .....	18
Tabla 12: Costos de infraestructura. Fuente: EFE [31]. .....	18
Tabla 13: Costos de Expropiación. Fuente: EFE [31]......	19
Tabla 14: Proporción de los costos asumidos por cada categoría de tráfico en choques en que intervienen dos partes. Fuente: Alcoholado 2006 .....	24
Tabla 15: Costos económicos anuales externos por accidentes viales. Fuente: Alcoholado 2006.....	24
Tabla 16: Variables que se consideran por ítem. Fuente: INFRAS 2004. ....	26
Tabla 17: Coeficiente de impacto medio (Número de efectos por ug/m3 de MP2.5 por año por millón de personas de la población total). Fuente: CONAMA 2007. ....	29
Tabla 18: Coeficiente de impacto medio (Número de efectos anuales por partes por billón de O3 por millón de personas de la población total). Fuente: CONAMA 2007. ....	30
Tabla 19: Ejemplos de valores de factores de emisión. Fuente: Bellera 2013. ....	38
Tabla 20: Potencial de calentamiento global de CO2 y NOX. Fuente: Bellera 2013. ....	38
Tabla 21: Ejemplos de Valores de VSL utilizados en políticas públicas, año 2005. ....	43
Tabla 22: Costos sociales unitarios asociados a lesionados. Fuente: MDS.....	47
Tabla 23: Costo Medio Social por daños a Vehículos Viales por tipo de accidente. Fuente: MDS. ....	47
Tabla 24: Costos sociales unitarios ferroviarios (UF/veh). Fuente: MDS. ....	48
Tabla 25: Población área de influencia del proyecto. ....	49
Tabla 26: Accidentes en Ruta 68 y proporción de lesionados. ....	52
Tabla 27: Tipología de víctimas de accidentes de tránsito en Ruta 68. ....	52
Tabla 28: Tipos de accidentes en Ruta 68. Periodo 2010-2013.....	52
Tabla 29: Reporte histórico de transacciones Ruta 68. Fuente SICE. ....	53
Tabla 30: Factores de Emisión - Concentración para Santiago (FEC).....	60

Tabla 31: Funciones de concentración respuesta de salud recomendadas para ozono. Basado en BENMAP 2010. ....	61
Tabla 32: Valores unitarios (UF).....	62
Tabla 33: Cuadro resumen de las 3 externalidades evaluadas.....	65
Tabla 34: VAN con las 3 externalidades, de acuerdo a Método capital Humano y VSL.....	65
Tabla 35: Variables con mayor variabilidad. Fuente: Elaboración Propia. ....	67
Tabla 36: Matriz de correlaciones entre variables de mayor variabilidad. Fuente: Elaboración propia. ....	68
Tabla 37: Participación de cada variable en el riesgo global.....	68
Tabla 38: Actores involucrados y su relación con el Proyecto.....	69
Tabla 39: Matriz de valorización de los principales actores involucrados. ....	70

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Costos promedio de externalidades en transporte de pasajeros, año 2000, EU 17. Fuente:[2] .....	2
Ilustración 2: Mapa del Proyecto. Fuente: Elaboración propia en base a información EFE. ....	15
Ilustración 3: Metodología ASIF. Fuente: Barbero 2012.....	36
Ilustración 4: Cadena de obtención de energía para combustibles y electricidad. Fuente: Bellera 2013. ....	37
Ilustración 5: Apertura de modos según demanda y operación considerados en modelo de emisiones. Fuente: MAPS. ....	40
Ilustración 6: Demanda Proyectada servicio Ferroviario de Pasajeros Santiago-Valparaíso. Fuente EFE. ....	47
Ilustración 7: Pasajeros anuales Transportados Merval.....	50
Ilustración 8: Distancia promedio por pasajero anual. Merval. ....	51
Ilustración 9: Pasajero*Kilómetro transportado Merval.....	51
Ilustración 10 : Transacciones vehiculares Ruta 68. 2014. ....	53
Ilustración 11: Cálculo de Accidentabilidad por Método se Capital Humano.....	54
Ilustración 12: Cálculo de accidentabilidad por Método de Valor Estadístico de la Vida. ....	54
Ilustración 13: Diferencial de Costos por accidentabilidad entre métodos CH y VSL. ....	55
Ilustración 14: Factor de Emisión CO <sub>2</sub> SIC. Fte Centro de Energía FCFM-U. de Chile. ....	57
Ilustración 15: Costos de emisiones cambio climático buses y trenes. ....	58
Ilustración 16: Costos de contaminación PM 2.5. Capital Humano. ....	63
Ilustración 17: Costos Contaminación Ozono. Capital Humano. ....	63
Ilustración 18: Costos Contaminación PM 2.5. VSL.....	64
Ilustración 19: Tabla 30: Costos Contaminación Ozono. VSL.....	64
Ilustración 20: Protesta en contra del Proyecto “Rancagua Express”. ....	72
Ilustración 21: Las 10 causas principales de muerte en personas de 15 a 29 años [30]. ....	73

## 1. ANTECEDENTES GENERALES

En la década de 1820 aparece el ferrocarril, un medio sobresaliente para la época en que el transporte de personas y mercancías se realizaba mediante tracción animal. Es así como hacia la segunda mitad del siglo XIX el mapa de Chile se cubre de ferrocarriles, cuyas inversiones contaban con el más amplio apoyo a nivel gubernamental. Pero esta superioridad competitiva del tren se vio amenazada ante la llegada de medios de transporte terrestre como automóviles, camiones y buses. Esta situación se agudizó cada vez más con el correr del siglo XX, y la empresa de Ferrocarriles se hacía cada vez menos competitiva, subsistiendo sólo gracias a aportes de subsidio estatal [21].

Hasta que en el año 1979, el gobierno discontinuó el subsidio anual, obligándole a suspender sus servicios menos rentables. Adicionalmente ocurre la desreglamentación del transporte interurbano para buses y el levantamiento de las restricciones sobre la importación de camiones.

Pero pese a esta aparente falta de competitividad frente a otras alternativas de transporte terrestre, es un hecho de la causa que el ferrocarril sigue siendo promovido por varios países en el mundo, destacando el caso de la Unión Europea<sup>1</sup> en que se realizan importantes inversiones ferroviarias. Entonces cabe preguntarse ¿por qué se invierte en ferrocarriles?, la respuesta se relaciona con los beneficios sociales del transporte ferroviario, ampliamente aceptados en la actualidad, en que el ferrocarril se relaciona directamente con el concepto de desarrollo sustentable y dichos beneficios son cada vez más valorados.

Lamentablemente, en el caso chileno, y de acuerdo a la metodología MDS, estos beneficios no estarían contemplados adecuadamente en la evaluación de proyectos, y por lo tanto, tampoco en la planificación del sistema de transporte. Por lo que en el presente trabajo se busca generar una instancia en que las externalidades sean consideradas al momento de realizar una evaluación de este tipo de proyectos.

Adicionalmente se presentan avances tecnológicos en mejoramiento de técnicas constructivas, la aparición de fenómenos como la saturación vial debido al aumento sostenido del parque automotriz, la mayor densidad poblacional, mayores expectativas económicas, y a una mayor apreciación de los beneficios del transporte colectivo<sup>2</sup>.

A su vez, existen antecedentes de experiencia internacional, INFRAS [2], en que se aborda el estudio de externalidades, dentro de las que se considera:

- Accidentes
- Cambio Climático

---

<sup>1</sup> [http://europa.eu/legislation\\_summaries/transport/rail\\_transport/tr0041\\_es.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/transport/rail_transport/tr0041_es.htm). Fecha consulta: 1/6/2015

<sup>2</sup> Fundación Facua: <http://www.facua.org/es/guia.php?Id=77>. Fecha de consulta: 3 de junio 2015

- Contaminación Atmosférica
- Ruido
- Costos para la naturaleza y el paisaje
- Costos externos en áreas sensibles
- Segregación urbana
- Monumentos históricos
- Calidad del agua

Respecto a éstas hay consenso internacional en que se es capaz de medir las primera cuatro externalidades mencionadas y desarrollar metodologías estandarizadas para su evaluación social, mientras que las demás requieren un análisis específico dependiente del proyecto en particular que se quiere evaluar [24]

Estas externalidades podrían revelar una menor o mayor rentabilidad social, con lo cual mejorar la precisión de la información cuantitativa que se utiliza para determinar si un proyecto debe realizarse o no. En la siguiente figura se muestran los costos medios de algunas externalidades asociados a diferentes modos viales en la Unión Europea:

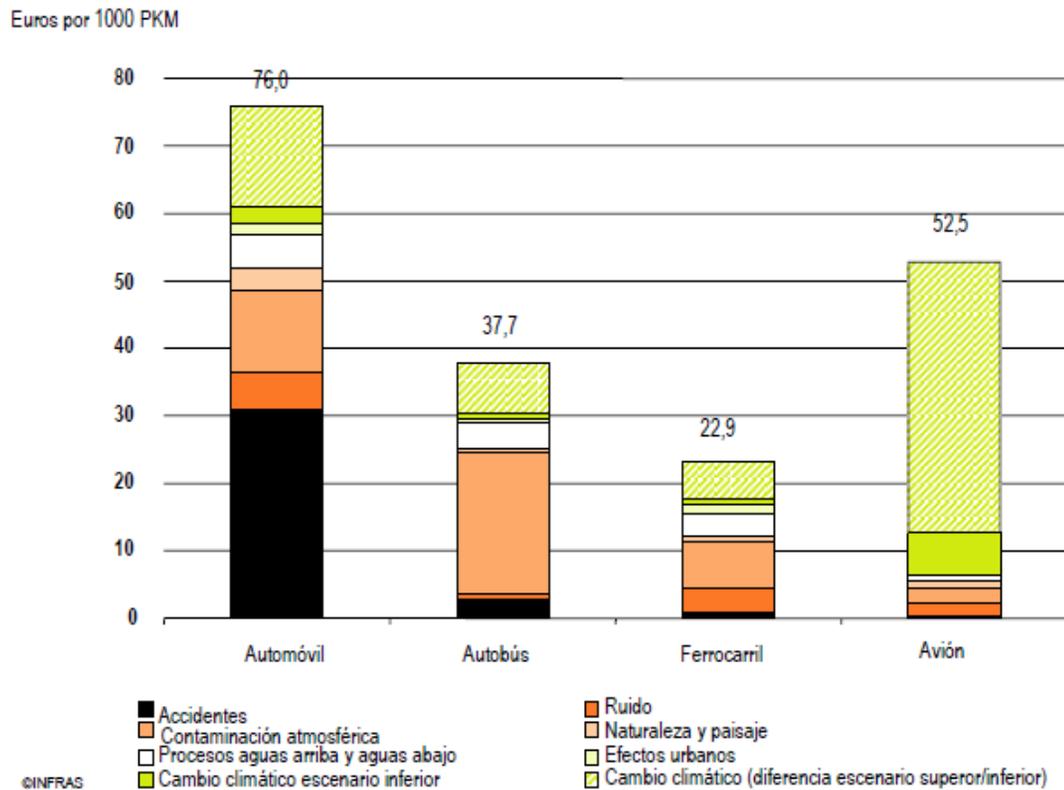


Ilustración 1: Costos promedio de externalidades en transporte de pasajeros, año 2000, EU 17. Fuente:[2]

En la ilustración 1 se aprecia que los principales costos por externalidades en el transporte terrestre de pasajeros se concentran en accidentes, cambio climático y contaminación atmosférica. Dentro del trabajo que desarrolla una consultora europea dedicada a temas relacionados con la sociedad, la economía y el medio ambiente (INFRAS), se encuentra que dentro de los costos externos asociados al transporte, el cambio climático es el componente más importante con un 30% del costo total, seguido por la contaminación atmosférica y a los costos por accidentes que suponen el 27% y 24% respectivamente<sup>3</sup>. Mientras que en el ranking de modos más impactantes, quien lo encabeza es el transporte por carretera que origina el 83,7% del costo total. Es importante mencionar que los costos marginales en cada modo vial son muy similares a los medios.

Bajo el contexto anterior, se propone realizar una evaluación social que complemente y mejore la actual metodología de evaluación social implementada para proyectos de servicios ferroviarios de pasajeros.

Por lo tanto las 3 externalidades propuestas por EFE corresponden a las de mayor contribución en comparación con otros modos de transporte de acuerdo a citado estudio, por lo que el presente trabajo de memoria, consiste precisamente en desarrollar una evaluación social de un proyecto ferroviario que incluya las externalidades planteadas.

Una breve reseña de la empresa EFE:

La Empresa de Ferrocarriles del Estado (EFE) provee servicios de transporte de pasajeros a través de tres empresas del GRUPO EFE, movilizando durante el año 2012 una cifra record de aproximadamente 30 millones de pasajeros. Presentan entre sus principales servicios de transporte de pasajeros los siguientes: Metro Regional de Valparaíso S.A. (MERVAL), Trenes Metropolitanos S.A. (TMSA) y FESUB (Regiones del Biobío y de La Araucanía).

EFE declara como Misión y Visión lo siguiente:

#### Misión

Somos una empresa que provee al país de una plataforma para el desarrollo sustentable del modo ferroviario, tanto para el transporte de pasajeros como de carga, haciendo un uso eficiente de los recursos e incorporando los más altos estándares de seguridad, calidad y confiabilidad.

---

<sup>3</sup> Si se utilizan precios sombra altos.

## Visión

Queremos contribuir al progreso del país mediante soluciones sustentables, innovadoras y de alta tecnología, que permitan entregar un servicio de transporte de pasajeros de excelencia y aumentar considerablemente la participación en el mercado de transporte de carga.

Finalmente mencionar que todo el marco conceptual de este proyecto y sus bases metodológicas serán compartidos con Catalina López y Sebastián Sepúlveda (memoristas de Ferrocarriles). Por ende este informe tendrá la misma base que esos proyectos en los ítems de objetivos, alcances y metodología. Esto conllevará a que los proyectos compartan la misma hipótesis preliminar, aunque para distintas aplicaciones.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

En Chile, al realizar la evaluación de proyectos ferroviarios se consideran únicamente tres factores de acuerdo a la metodología vigente del MDS [9], los cuales son:

- i) Congestión
- ii) Tiempos de Viaje
- iii) Costos de Inversión y Operación

Respecto a la forma en que se evalúan los proyectos ferroviarios, existe la opinión fundada que dentro del proceso de evaluación no se estaría considerando factores propios de la evaluación social que en la actualidad están ampliamente validados en la mayoría de los países de Europa, reconocidos por su tradición ferroviaria en medios de transporte [2]. Lo cual aplicado a la realidad chilena, podría significar que hasta la fecha no se estaría haciendo un adecuado dimensionamiento de las externalidades positivas inherentes a los proyectos ferroviarios que permitan tomar mejores decisiones de inversión.

Existe, por lo tanto, la impresión de que bajo esta nueva metodología propuesta, la evaluación de proyectos ferroviarios presenten resultados más favorables (mayor rentabilidad social) comparados con la aplicación de la metodología MDS vigente, dándoles, eventualmente, una mayor competitividad frente a alternativas de inversión en transporte terrestre, como por ejemplo la ampliación de la red vial (particularmente ante proyectos de autopistas).

A petición de EFE, los factores que se espera considerar son:

- i) Costos asociados a accidentes.
- ii) Efecto en cambio climático
- iii) Contaminación Ambiental.

¿Por qué un servicio ferroviario Santiago-Valparaíso?

En Chile existen 3 núcleos urbanos sobre el millón de habitantes: Gran Santiago, Gran Valparaíso y Gran Concepción, que representan sobre el 50% de la población total del país [22].

Donde destaca la cercanía geográfica entre Santiago y Valparaíso, de aproximadamente 100 [Km] en línea recta entre sus respectivos centros<sup>4</sup>. Existe además bibliografía histórica<sup>5</sup> acerca del nexo que han tenido estas ciudades como conjunto de Ciudad capital y su Puerto natural, y la importancia de generar conexiones de transporte entre ambas urbes.

Si bien en la actualidad se cuenta con buenas rutas de conexión, principalmente la Ruta 68, aparecen nuevos desafíos propios del crecimiento económico, en que existe correlación positiva entre este crecimiento y el incremento del parque vehicular, así como de la actividad económica que genera un alza en la demanda de transporte. Es por esta razón que se hace necesario proyectar soluciones de transporte, entre las cuales el tren puede ser una buena alternativa.

Se suma a ello, la revalorización del transporte colectivo como forma de optimizar las redes de transporte y también acerca de los efectos ambientales asociados a inversiones en esta área.

---

<sup>4</sup> Google Earth, 2015.

<sup>5</sup> <http://www.memoriachilena.cl/602/w3-article-599.html>, Fecha de consulta: junio 2015

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General**

Realizar una Evaluación social del proyecto ferroviario de transporte de pasajeros Santiago – Valparaíso, considerando externalidades.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

a. Adaptar metodologías de evaluación social de externalidades para proyectos de ferrocarriles a la realidad chilena. Evaluar tomando en cuenta las 3 externalidades: accidentabilidad, cambio climático y contaminación del aire.

b. Aplicar al caso de estudio: “Proyecto Ferroviario Santiago - Valparaíso” y determinar su nueva rentabilidad social.

c. Comparar resultados de evaluación bajo la metodología vigente de MDS y la metodología complementaria desarrollada. Concluir al respecto.

### **4. METODOLOGÍA**

La metodología a utilizada fue la Evaluación Social de Proyectos, que busca maximizar el bienestar de todos los agentes involucrados en su conjunto, a diferencia de la Evaluación de Proyectos Privados, que sólo maximiza el bienestar del ejecutor del proyecto. Por ello que se contempla a todos los involucrados en cuanto a costos y beneficios. Para ello se utiliza los precios sociales y los flujos se descuentan a una tasa social de descuento que debe representar la valoración social por el presente.

Por lo tanto se revisa exhaustivamente bibliografía relacionada y en particular, experiencias de otros países en que la Evaluación Social se aplica a proyectos ferroviarios de forma permanente. Esto contempla utilizar, en particular, estudios del INFRAS [2] y el documento “Evaluación social de inversiones públicas: enfoques alternativos y su aplicabilidad para Latinoamérica”, elaborado por el Profesor Eduardo Contreras [1].

Luego, se procede a adaptar metodologías de evaluación social bajo el enfoque de eficiencia, específicamente, de análisis costo –beneficio, propuestas por los mismos autores y por otros estudios que sean de relevancia para el trabajo, a la realidad chilena y en particular al caso a evaluar. En una siguiente etapa se estima los beneficios de cada costo externo mediante la diferencia de costos de cada externalidad resultantes de las

metodologías desarrolladas entre la situación base (sin proyecto) y la situación con proyecto.

Posterior a esto se procede a realizar un cálculo de la rentabilidad social total del proyecto, es decir, sumar a la evaluación social existente del proyecto los beneficios estimados en el presente trabajo, lo que incluye un flujo de caja estimado en un periodo que incluye 20 años desde que se inicia la operación, más los años iniciales de inversión, y consecuentemente un VAN social.

Finalmente se realiza un análisis de riesgo para identificar y cuantificar los factores de riesgo más importantes.

## **5. MARCO CONCEPTUAL**

### **5.1. Análisis Costo - Beneficio**

La metodología utilizada es la Evaluación Social de Proyectos, que busca maximizar el bienestar de todos los agentes involucrados en su conjunto, a diferencia de la Evaluación de Proyectos privados que maximiza el bienestar sólo para el ejecutor en cuestión.

Para realizar la evaluación social del proyecto se emplea un Análisis Costo Beneficio (ACB) bajo el enfoque de eficiencia, ampliamente utilizado en la evaluación de proyectos sociales [1]. Esta herramienta consiste en llevar a términos monetarios los impactos (costos y beneficios) del proyecto en análisis, y generar una serie de indicadores económicos que permitan evaluar la conveniencia de la propuesta desde el punto de vista social.

El enfoque de eficiencia considera 3 postulados básicos:

1. El beneficio de una unidad adicional de un bien o servicio para un comprador es medido por su precio de demanda.
2. El costo de oportunidad de una unidad adicional de un bien o servicio para un proveedor es medido por su precio de oferta.
3. Un dólar de beneficio para uno vale tanto como un dólar de beneficio para otro.

La elaboración del ACB considera la comparación de dos escenarios: situación sin proyecto o línea base, y situación con proyecto. La línea base asume que se mantiene la red vial indefinidamente, mientras que la situación con proyecto supone la implementación de la propuesta.

El periodo en el que se estiman los impactos del proyecto va desde el comienzo de la inversión hasta pasados 20 años desde el inicio de la operación.

Para cuantificar costos y beneficios de los involucrados se recurre a los precios sociales de los ítems identificados publicados por el Sistema Nacional de Inversiones, o estimados mediante metodologías aprobadas por los ministerios a los cuales incumben los impactos asociados, o finalmente por métodos probados en contextos internacionales.

Estos precios sociales o sombra, tienen el objeto de medir el efecto de implementar un proyecto sobre la economía en su conjunto considerando la existencia de distorsiones (impuestos, subsidios, monopolios, etc.), los efectos indirectos y externalidades que genera el proyecto sobre el bienestar de la sociedad.

Finalmente los flujos de caja de la evaluación social se descuentan a una tasa social de descuento que debe representar la valoración social por el presente. Esta tasa social de descuento corresponde al 6% para el caso de transporte ferroviario de pasajeros [23].

## **5.2. Impactos**

Se pueden identificar 3 ámbitos de impactos [2] [10]:

- Accidentes
- Cambio climático
- Contaminación atmosférica

A continuación se detallará la explicación de cada impacto:

### **Accidentabilidad**

La accidentabilidad agrupa las siguientes variables [8]:

- Valor de riesgo: Corresponde al costo asociado al sufrimiento humano, tanto de las víctimas de los accidentes, como de sus respectivos amigos y familiares, y asociado tanto al caso de lesiones con hospitalización como también al caso de víctimas fatales.

- Gastos médicos: Ya sea en el caso de una fatalidad o una lesión, los gastos médicos asociados al cuidado del paciente hasta su deceso o recuperación.

- Pérdida de capital humano: En el caso de víctimas fatales, se obtiene un costo neto para la sociedad al restar la futura producción del individuo con su futuro consumo.

- Gastos administrativos: Contemplan gastos asociados a policía (carabineros en el caso de Chile), justicia y administración pública.

No se contemplan los costos materiales asociados a los accidentes, ya que suelen existir seguros involucrados que los cubren, y por ende no corresponden a costos externos.

### **Cambio Climático**

El cambio climático se refiere Al costo oportunidad asociado al calentamiento global, es decir, a emisiones de gases de efecto invernadero (particularmente CO2). Para efectuar el cálculo se emplea el supuesto que el efecto es independiente del lugar donde la emisión se produzca [11].

### **Contaminación del aire.**

Dentro de la contaminación atmosférica se considera [11]:

- Daños a la salud humana. Se trata de costos asociados principalmente a tratamiento y efectos de trastornos respiratorios ocasionados por partículas suspendidas.
- Daños a patrimonio (construcciones y edificios) causados por partículas suspendidas.
- Daños a cultivos agrícolas causados por material partículas suspendidas.

## **5.3. Metodología para la Evaluación Socioeconómica de Proyectos de Transporte Ferroviario**

Dentro de la metodología del MDS se puede clasificar a un proyecto en 3 tipos, según impacto en la demanda (en anexos se explica en detalle en qué consiste cada tipo de proyecto):

Tipo de Proyecto	Generación/atracción Distribución	Partición Modal	Asignación
I	No	No	No
II	No	Sí	Si/No
III	Sí	Sí	Si/No

Tabla 1: Clasificación de Proyectos Ferroviarios según Impacto en la Demanda. Fuente: Metodología MDS

Según las definiciones de los tipos de proyectos, el proyecto a evaluar en el trabajo de memoria es tipo 3, debido a que se espera que genere cambios tanto en la partición

modal como en las etapas de generación atracción (incluyendo demanda inducida) y distribución de los viajes, según análisis específicos desarrollados por SECTRA.

A partir de lo anterior, la metodología propone un análisis de demanda y oferta del proyecto. Para luego definir los costos de inversión, operación, mantenimiento y de accidentes asociados directamente al proyecto ferroviario. A continuación se detallan los costos a nivel agregado que considera la metodología MDS:

Costos de Inversión	
Ítem	Unidad
Terrenos	m2
Movimientos de tierras	m3
Obras de arte	ml
Superestructura de la vía férrea	mlv
Electrificación	km
Señalización y comunicaciones	km
Edificaciones	m2
Ingeniería	gl
Inspección y recepción de obras	gl

Tabla 2: Costos de inversión. Fuente: Elaboración propia a partir de información de metodología de MDS

Costos de Operación y Mantenimiento Ferroviario	
Costos operacionales directos	Energía
	Personal de trenes
	Mantenimiento de vehículos
	Otros
Costos operacionales de infraestructura	Mantenimiento de la vía férrea
	Mantenimiento de puentes y obras de arte
	Mantenimiento de la electrificación
	Mantenimiento de la señalización y comunicaciones
	Movilización de trenes
	Operación de estaciones

	Mantenimiento de edificios
Costos de estructura	Gastos de administración
	Servicios generales
	Seguros

Tabla 3: Costos de operación y mantenimiento ferroviario. Fuente: Elaboración propia a partir de información de metodología de MDS

Costos de Operación y Mantenimiento Vial	
Costos variables	Combustible
	Neumáticos
	Lubricantes
	Repuestos
	Mano de obra de mantenimiento
Costos fijos	Si hay impacto sobre la partición modal se hace necesario determinar estos costos para los modos de transporte público viales considerados en la modelación.

Tabla 4 Costos de operación y mantenimiento vial. Fuente: Elaboración propia a partir de información de metodología de MDS

Costos de Accidentes	
Costos directos	Costos médicos
	Daños a la propiedad
	Costos administrativos
	Juzgados
	Policías
Costos indirectos	Costos por pérdida de productividad asociada a víctimas
Costo humano	Pérdida de calidad de vida
	Dolor
	Pena de familiares y amigos de las víctimas

Tabla 5: Costos de accidentes. Fte: Elaboración propia a partir de información de metodología de MDS

Por otra parte, con respecto a los beneficios de los proyectos ferroviarios, la metodología de MDS considera beneficios por consumo de recursos que corresponden a:

- Tiempo de viaje: Se valora el tiempo de viaje consumido por los usuarios de la red considerando el modo de transporte en el que viajan, es decir, hay un valor por pasajero diferenciado por modo de transporte (el Sistema Nacional de Inversiones –SNI– es el que determina los valores sociales del tiempo que deben ser considerados). Así, los beneficios por concepto de tiempo de viaje se determinan como la diferencia entre el costo social total por tiempo de viaje en la situación sin proyecto (SP) menos el costo social total por tiempo de viaje en la situación con proyecto (CP).

- Costos de operación: Corresponden a los costos asociados a la operación de los vehículos, incluidos sus costos fijos. Se debe separar el cálculo de costos de operación asociados al proyecto ferroviario de los correspondientes de la red multimodal. Los beneficios se obtienen de la diferencia entre la Situación SP y CP.

- Tamaños de flota requeridos: Reducción de flota de buses. Cuando debido a un proyecto ferroviario existe impacto en la partición modal, la transferencia de demanda es siempre desde otros modos al ferrocarril. Esto produciría una disminución de los flujos de estos vehículos en la red, lo que implica una reducción de la flota necesaria para satisfacer la demanda (asumiendo que se mantienen sus tasas de ocupación).

- Costos de mantenimiento de la infraestructura: Los beneficios por este concepto corresponden a la diferencia entre el costo en la Situación SP y CP en cada año del horizonte de evaluación del proyecto.

- Accidentes: Los beneficios por este concepto, al igual que los beneficios anteriores, se obtienen por la diferencia de los costos estimados entre la Situación SP y CP.

## **6. ALCANCES Y RESULTADOS ESPERADOS**

### **Alcances**

El Trabajo de memoria corresponde a un proyecto promovido por EFE, al cual se le realizó una evaluación Social basada estudios previos de la empresa, adicionando a dicha evaluación externalidades no consideradas en la metodología MDS. Por lo tanto en esta memoria no se trabaja en etapas previas propias de una evaluación social de proyectos como formulación (identificación de alternativas, Análisis de Impacto Ambiental, etc.), sino que se parte sobre la base de un trabajo en que los efectos directos estarán dados como insumo, así como los resultados de evaluaciones ya realizadas.

El trabajo contempla dentro de sus alcances:

- La adaptación de metodologías de las externalidades de contaminación atmosférica, cambio climático y accidentabilidad sobre el modo vial terrestre de transporte de pasajeros público y privado de las carreteras y caminos sustitutos al recorrido de los corredores en cuestión.
- Evaluación de los costos y beneficios relacionados a los factores antes mencionados.
- Cálculo de flujo de caja y VAN social total del proyecto considerando la evaluación social entregada por EFE y los cálculos de los costos y beneficios estimados en el presente trabajo.
- Comparación y análisis del resultado de la evaluación social que incluye externalidades con el resultado de la evaluación social sin estas (la existente y entregada por EFE).

De esta forma se determinó un nuevo VAN social del proyecto, contemplando los diferenciales de los cálculos de las externalidades indicadas.

### **Resultados esperados**

Dentro de los resultados que se espera al concluir la presente memoria, se encuentra el poder identificar si existen diferencias significativas entre la evaluación social efectuada mediante la metodología MDS vigente y la realizada a partir de la inclusión de externalidades propuestas (accidentabilidad, cambio climático y contaminación atmosférica).

En base a lo anterior, se espera estar en condiciones de generar un caso de aplicación a un proyecto determinado y establecer una evaluación que integre estos

aspectos adicionales y provea de una herramienta para la elaboración de mejores propuestas de evaluación para la empresa EFE, así como dejar en manifiesto una cuantificación de dichas externalidades tal que permita realizar una evaluación social más ajustada a los reales beneficios del proyecto. Se contempla entonces entregar las variaciones del VAN social con externalidades y un análisis de riesgo.

## 7. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EN ESTUDIO

Dada la geografía propia de la zona ubicada entre la Región Metropolitana de Santiago y la región de Valparaíso, donde predominan cadenas de relieve en sentido norte-sur, además de una pronunciada pendiente que va desde los 600 msnm de altitud de Santiago (aproximadamente) hasta la cota cero en Valparaíso. Por lo que generar un trazado adecuado no es trivial, se requiere estudiar varias variables entre las cuales destacan: largo recorrido, pendiente máxima, velocidad (tipo equipamiento ferroviario), instalaciones existentes, núcleos urbanos y costos asociados, entre otros.

En el presente proyecto en estudio se contempla utilizar parte de la línea existente: Santiago–Valparaíso de 187 [km], específicamente los tramos Santiago–Til Til (49 [km]) y Limache-Valparaíso (44 [km]). Y agregar un nuevo tramo Til Til–Limache (36 [km]) que cruce la cuesta La Dormida (túnel), con una longitud del trazado total de 129 [km]<sup>6</sup>.

Además se cuenta con información de la ruta 68, como vía principal existente que conecta Santiago con Valparaíso, donde las distancias son, a modo de comparación con alternativas ferroviarias:

Santiago – Valparaíso: distancia 115 [km] → Tiempo de viaje en bus: 1 hora 35 minutos

Santiago-Viña del Mar: distancia 120 [km] → Tiempo de viaje en bus: 1 hora 50 minutos

Para una mejor exposición de lo anterior, se presenta la siguiente figura:

---

<sup>6</sup> Merval, MOP, Travel Viña del Mar



Ilustración 2: Mapa del Proyecto. Fuente: Elaboración propia en base a información EFE.

### Evaluación del proyecto (Perfil)

Respecto a la viabilidad del proyecto, se cuenta con el respaldo e interés explícito por parte de EFE, con información de primera fuente y oportuna para desarrollar el presente trabajo.

A continuación se tiene el conjunto de parámetros utilizados en la elaboración del Flujo de caja:

Otros parámetros	Factor social obras civiles	0,85	-
	Distancia nuevo tramo de vía en Sector B	36700	metros
	Distancia entre Santiago - Limache	83,7	km
	Tiempo de viaje en tren hasta Limache	30	minutos
	Tarifa del tren hasta Limache	3000	\$
	Año de inicio	2016	-
	Frecuencia diaria por sentido tren	61	viajes/día*sentido

	Viajes totales tren ambos sentidos	44530	viajes/año
	Capacidad Anual de tren de pasajeros	18702600	Pax
	Capacidad bus promedio	45	Asientos
	Factor de ocupación bus	65%	-
	Peso auto	3	Ton
	Peso bus	20	Ton
	Peso de un pasajero promedio	80	kg
	Peso tren de pasajeros	616	ton
	Capacidad Tren de pasajeros	414	pax
	Ancho de expropiación promedio	20	metros

Tabla 6: Parámetros generales. Fuente EFE [31].

Costos de mantención	Mantención Riel: Estándar A	46,67	UF/Millón·TKBC
	Mantención Riel: Estándar B	65,00	UF/Millón·TKBC
	Mantención Riel: Estándar C	83,33	UF/Millón·TKBC
	Mantención Riel: Estándar D	101,67	UF/Millón·TKBC
	Mantención Riel: Estándar F	138,33	UF/Millón·TKBC
	Talleres	10000	USD/año
	Estación en Santiago	20000	USD/año
	Estación en Limache	20000	USD/año

Tabla 7: Costos de Mantención. Fuente EFE [31].

Costos de operación	Costo del personal trenes de pax	9.360.000	\$/mes
	Costos de administración y ventas	5%	% Gasto total
	Estación en Santiago	24000	USD/año
	Estación en Limache	24000	USD/año

Tabla 8: Costos de Operación. Fuente EFE [31].

Inversión Inicial Sector B: Til Til - Limache	Túnel	10	MMUSD / km	25
	Costo de vía	73	MMUSD / km	1,39
	Expropiación Privada Sector 1	16344	UF / m <sup>2</sup>	4,43
	Expropiación Privada Sector 2	75360	UF / m <sup>2</sup>	1,15
	Expropiación Privada Sector 3	448800	UF / m <sup>2</sup>	0,72
	Expropiación Privada Sector 4	283200	UF / m <sup>2</sup>	0,00
	Expropiación Privada Sector 5	57120	UF / m <sup>2</sup>	0,64
	Expropiación Social Sector 1	16344	UF / m <sup>2</sup>	6,13
	Expropiación Social Sector 2	75360	UF / m <sup>2</sup>	1,59
	Expropiación Social Sector 3	448800	UF / m <sup>2</sup>	1,04
	Expropiación Social Sector 4	283200	UF / m <sup>2</sup>	0,00
	Expropiación Social Sector 5	57120	UF / m <sup>2</sup>	0,92
	Aumentar a Estándar F	73	MMUSD / km	0,98
	Otras inversiones	Tren de pasajeros	4	UF
Estudios	Ingeniería de detalle	1	MM\$	8% Inversión

Tabla 9: Inversiones y Estudios. Fuente EFE [31].

Otras variables	2: doble vía con traslapes actuales
Tiempo de viaje: Santiago - Limache	30
Frecuencia Diaria · Sentido	61
Kilómetros de vía Stgo - Til Til	47
Kilómetros de vía Til Til - Limache	73,4
Ancho expropiación Sector B (m)	24
Cantidad de trenes de pasajeros	4

Tabla 10: Otras variables relevantes. Fuente EFE [31].

Se tiene entonces, los resultados del proyecto. Fuente: EFE [31]

Evaluación	Tasa Descuento	VAN MUF	TIR
Social	6%	60.099,3	47,3%
Privada	10%	2.008,6	12,0%

Tabla 11: Resultados VAN Proyecto. Fuente EFE [31].

### Procedimiento de Estimación de Demanda.

Se divide en cuatro partes principales [31].

- i) Definir el área de influencia del proyecto
- ii) Determinar la cantidad de viajes intercomunales realizados anualmente (SP)
- iii) Aplicación de un modelo de elección discreta para estimar la cantidad de viajes atraídos por el nuevo servicio.
- iv) Cuantificar la demanda inducida.

### Estimación de Costos [31].

Los costos evaluados en el proyecto se dividen en cinco categorías:

- i) Inversión en Infraestructura:

Material rodante: tiene un costo de 217.000 UF y de acuerdo al diseño del proyecto se requieren cuatro trenes.

Obra	Precio Unitario	Unidad
Estación Santiago	20	MMUSD
Taller y cocheras	5	MMUSD
Costo de vía	1,39	MMUSD / km
Aumento a Estándar F	0,97	MMUSD / km
Túnel	25	MMUSD / km

Tabla 12: Costos de infraestructura. Fuente: EFE [31].

Para el cálculo de los costos sociales se utilizó un factor de expansión social de 0,85 proporcionado por EFE para sus evaluaciones.

ii) Operaciones

- Personal: 8 maquinistas y 8 ayudantes para 4 trenes en 2 turnos. Costo anual de mano de obra: \$18.720.000.-
- Administración y ventas: 5% de gastos totales.(CIMA-SIPRES , 2010)
- Costos de operación de estaciones: gasto en servicios básicos ( agua, electricidad, internet, personal de aseo y mantención general). Se considerará un costo de US\$24.000 anuales en operación de estaciones. (CIMA-SIPRES, 2010)
- Costos de energía utilizados por el tren.

iii) Mantención

- Vías (rieles): existen 5 tipos según estándar: A, B, C, D y F, en orden creciente de costos, expresados en *MM\$/año*. (SECTRA, 2010).
- Talleres y Estaciones: costos anuales en *MM\$/año*. (SECTRA, 2010).
- Material rodante.

- iv) Expropiación: se debe expropiar un paño de terreno de 36,9 km de longitud para el tramo de Til Til – Limache. El promedio ponderado del valor privado es de 0,86 UF/m<sup>2</sup> y el valor social es de 1,23 UF/m<sup>2</sup>.

Sección	Valor Privado (UF/m <sup>2</sup> )	Valor Social (UF/m <sup>2</sup> )
Urbana con casas	4,43	6,13
Urbana sin casas	1,15	1,59
Agrícola 1	0,72	1,04
Agrícola 2	0,64	0,92

Tabla 13: Costos de Expropiación. Fuente: EFE [31].

### Estimación de Beneficios (EFE [31])

- i) Beneficio a usuarios: se utilizó la metodología Log-Sum, incluyendo a todos los tipos de usuarios (quienes ya realizaban viajes y los nuevos entrantes: demanda inducida).
- ii) Beneficios por reducción de costos: Con los costos unitarios de operación de los buses (combustible, lubricantes, mantención, neumáticos y personal) más la información de los buses/km desplazados se calcula la reducción de costos. Datos de rendimiento buses: combustible: 3,3 km/lit. (Banco Central de Chile 2010), lubricantes:  $5,68 \cdot 10^{-3}$  lit/km y en neumáticos:  $1,676 \cdot 10^{-4}$  neumáticos/km. (Ariztía et.al, 2011).

## **8. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE METODOLOGÍAS DE EXTERNALIDADES**

### **8.1. Accidentabilidad**

Esta externalidad tiene una repercusión trágica en la sociedad, tanto en términos de costo humano, como costos directos. A continuación una revisión de distintas metodologías, consideradas como relevantes de estudiar.

#### **8.1.1. Ministerio de Desarrollo Social**

Para determinar los costos asociados a los accidentes, se debe estimar la accidentabilidad y sus consecuencias para todos los modos viales involucrados en el proyecto, y determinar los costos sociales anuales asociados.

La estimación se basa en la determinación de tasas de accidentabilidad que dependan de variables que sean fácil de proyectar, como por ejemplo, el flujo por arco expresado como veh-km (vehículo – kilómetro).

La accidentabilidad debe conseguirse tanto para ferrocarriles, como para vehículos. La información puede obtenerse de Carabineros de Chile, quienes toman registro de los accidentes y los ingresan a una base de datos llamada SIEC2, o de las mismas empresas ferroviarias quienes suelen llevar registro de los accidentes con cierto detalle.

En base a los datos extraídos de las fuentes de información se desarrolla un diagnóstico del sector en estudio y se debe establecer tasas de accidentabilidad según las variables estimadas convenientes, para una tipología de arcos presentes en la red, y así determinar tasas promedios por cada uno de ellos.

#### **Costos Unitarios de Accidentes**

Los costos por accidentes de tránsito son valorados en base a tres componentes. En la primera, denominada costos directos, se incluyen costos médicos, daños a la propiedad, costos administrativos, juzgados, policías. En la segunda, denominada costos indirectos, se incluyen costos por pérdida de productividad asociada a las víctimas (valor de bienes y servicios que habrían sido producidos de no suceder el accidente). Y, por último, la tercera componente, también denominada costo humano o valor intrínseco del riesgo, intenta valorizar elementos tales como: pérdida de calidad de vida, el dolor, la pena de familiares y amigos de las víctimas, pérdida intrínseca del goce de la vida y otros. Esta última no ha sido considerada en las estimaciones de costos de accidentes en Chile.

En el caso de los accidentes ferroviarios, los de mayor relevancia (y los únicos que se recomienda considerar) son los atropellos y las colisiones con vehículos viales en cruces a nivel.

### **Determinación de costos de accidentes**

El procedimiento para determinar los costos de accidentes es el siguiente:

- Determinación de las tasas de accidentabilidad promedio
- Determinación de las tasas de participación de vehículos por accidente, según tipo (vial: liviano, pesado; ferroviario: tren)
- Determinación de las tasas de víctimas por accidente según gravedad (leve, menos grave, grave, fallecido)
- Determinación del costo del accidente promedio a partir de un vector de precios sociales actualizado
- Determinación del costo total para toda la red.

### **Costos accidentes viales**

Los accidentes deben ser clasificados según atropello, colisión, choque, volcadura.

Las tasas de accidentabilidad por tipo de arco (camino no pavimentado, pavimentado calzada simple, pavimentado, calzada doble, autopista concesionada) se determinan mediante la siguiente fórmula:

$$TA_k^i = \frac{ACC_k^i}{MVK_k}$$

Donde:

$TA_k^i$ : Tasa de accidentes del tipo i, en los arcos de tipo k

$ACC_k^i$ : Número total de accidentes por año del tipo i, en arcos del tipo k (promedio de al menos 3 años)

$MVK_k$ : Millón de vehículos kilómetro por año que circulan en los arcos del tipo k.

Con esto, se puede calcular los accidentes totales de cada tipo en la red de acuerdo a la siguiente expresión:

$$AVT_k^i = \sum_a TA_k^i * \delta_k(a) * MVK_a$$

Donde:

$$\text{Con: } \delta_k(a) \begin{cases} 1 & \text{si arco } a \text{ es tipo } k \\ 0 & \text{si arco } a \text{ no es tipo } k \end{cases}$$

$AVT_k^i$ : Accidentes viales totales del tipo i en arcos tipo k

$TA_k^i$ : Tasa de accidentes del tipo i, en los arcos de tipo k

$MVK_k$ : Millón de vehículos kilómetro por año que circulan en el arco a.

### Determinación de costos sociales de accidentes viales

Para determinar el costo social asociado a las situaciones con proyecto y sin proyecto, se debe determinar el costo social medio unitario de cada tipo de accidente, para cada tipo de arco.

Los costos se desglosan en base a:

- Tipo de accidentes: atropellos, choques, colisiones, volcaduras
- Tipos de vehículos: livianos, pesados
- Nivel de gravedad de lesión: fallecidos, lesionados graves, lesionados menos graves, lesionados leves.

Finalmente, el costo total se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CSA^t(S) = \sum_i \sum_k AVT_k^{ti}(S) * CSU_k^i$$

Donde:

- $CSA^t(S)$ : costo social total anual por accidentes en el año t, para la situación S: base o alternativa del proyecto, en \$/año.
- $AVT_k^{ti}(S)$ : cantidad de accidentes viales totales anuales del tipo i, para el año t, para la situación S, en acc/año.
- $CSU_k^i$ : es el valor unitario del accidente tipo i en los arcos del tipo k, en \$/acc.

## **Determinación de costos de accidentes ferroviarios**

El procedimiento metodológico es equivalente al del caso vial.

Como los accidentes involucran participantes ajenos al tren, las tasas de accidentabilidad varían más por las características del entorno de la vía, que por las características de la vía misma.

### **8.1.2. Metodología de Rizzi**

Rizzi [10] plantea que un vehículo – kilómetro causa costos internos al sistema y costos externos. Los primeros se pueden dividir en dos:

- Una unidad extra de tráfico en corrientes de tráfico homogéneas puede modificar la tasa o riesgo de accidentes, afectando la seguridad de todos los conductores y pasajeros.
- Existen distintos tipos de tráfico compartiendo la vialidad, lo que da lugar a accidentes entre miembros de diferentes categorías de tráfico.

Los costos de accidentes externos al sistema de transporte y que recaen sobre la sociedad se relacionan con los daños a propiedades de terceros, costos de atención médica, etc.

Respecto a estos últimos, se consideran tres tipos de víctimas: fatales, gravemente heridas y leves, y además se consideran accidentes con hasta tres partes involucradas. Respecto a los costos mismos, se consideran costos por tratamiento de lesionados, de rehabilitación, administrativos y materiales, y costos subjetivos por daños a las personas basados en la disposición al pago por reducciones de riesgo (valor de la vida estadística). Así, los costos respectivos por disminuir una víctima fatal, una víctima grave y una víctima leve son respectivamente US\$203.615, US\$73.787, US\$3.299.

El valor de reducir una fatalidad por accidente de tránsito es superior al considerado para reducción de muertes prematuras por contaminación atmosférica, debido a que las personas perciben riesgos de manera diferente, y por tanto la disposición al pago es distinta.

En la siguiente tabla se entrega la distribución de los costos de los accidentes entre distintos modos de transporte. Modos con mayor masa asumen una menor proporción de los costos, es proporcional. Los kilómetros recorridos por cada modo y la elasticidad con

respecto al flujo vehicular de los riesgos de accidente, muerte y lesiones leve fueron estimados por Alcoholado [12], basado en la metodología de Rizzi.

	Otra categoría involucrada en el accidentes							
	Buses	Camiones	Vehículos Particulares	Taxis	Vehículos Comerciales	Motocicletas	Peatones	Ciclistas
<b>Categoría de tráfico</b>								
Buses	0,50	0,50	0,12	0,12	0,31	0,02	0,01	0,01
Camiones	0,50	0,50	0,12	0,12	0,31	0,02	0,01	0,01
Vehículos Particulares	0,88	0,88	0,50	0,50	0,69	0,06	0,01	0,01
Taxis	0,88	0,88	0,50	0,50	0,69	0,06	0,01	0,01
Vehículos Comerciales	0,69	0,69	0,31	0,31	0,50	0,04	0,01	0,01
Motocicletas	0,98	0,98	0,94	0,94	0,96	0,50	0,29	0,29
Peatones	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,71		
Ciclistas	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,71		

Tabla 14: Proporción de los costos asumidos por cada categoría de tráfico en choques en que intervienen dos partes. Fuente: Alcoholado 2006

En la siguiente tabla se entrega el costo marginal-total externo por tipo de vehículo y el total correspondiente al sector automotor.

Categorías de Tráfico	Tarifa en US\$ por kilómetro recorrido (2001)	Kilómetros recorridos año 2003 millones	Costo marginal-total externo US\$ millones (2001)
Buses	0,26	1.219	312
Camiones	0,03	1.477	42
Particulares	0,04	8.831	338
Taxis	0,07	1.980	131
Comerciales	0,03	4.634	156
Motocicletas	0,44	96	42
<b>TOTAL</b>		18.238	1.022

Tabla 15: Costos económicos anuales externos por accidentes viales. Fuente: Alcoholado 2006

### 8.1.3. Modelo de Jansson

Jansson [10] formaliza un modelo de costos externos de accidentes viales, considerando corrientes homogéneas de tráfico y corrientes heterogéneas.

#### Corrientes homogéneas de tráfico

El costo total esperado depende de la disposición al pago de los conductores por reducir el riesgo, y los daños materiales generados al resto de la sociedad. El costo total esperado de los accidentes viene dado por la siguiente ecuación:

$$CT = a * r * Q + c * A$$

Donde:

- $r$ : riesgo de sufrir un accidente para cada vehículo por unidad de tiempo. ( $r = f(Q)$  riesgo de accidente, en determinado  $Q$ .)
- $a$ : disposición al pago de un conductor representativo por reducir el riesgo de accidente en el margen.
- $Q$ : número de vehículo-kilómetros totales
- $c$ : costo de los daños materiales por accidente que recaen en el resto de la sociedad
- $A$ : número de accidentes

El costo marginal externo (CME) es igual a la diferencia entre el costo marginal social ( $\partial CT / \partial Q$ ) y el costo medio privado (o percibido) ( $a * r$ ) por kilómetro circulado. Esta diferencia entrega el impuesto pigouviano que debería cobrarse a los conductores.

Entonces:  $CME = ((a + c) * r * E_r^Q) + (c * r)$

Donde  $E_r^Q$  es la elasticidad del riesgo de accidente con respecto al flujo.

Esta elasticidad es un parámetro relevante para determinar el costo externo marginal social, puesto que refleja la relación existente entre los cambios en el volumen de tráfico y el riesgo de accidente.

## Corrientes heterogéneas de tráfico

Si se considera 2 corrientes heterogéneas de tráfico: vehículos pesados (PES) y vehículos livianos (LIV), existen tres combinaciones (tipos) de accidentes:

- LIV-LIV, PES-PES: categoría de tráfico anterior
- LIV-PES: modelo Jansson corrientes heterogéneas.

Entonces, el número de accidentes entre ambas categorías ( $X$ ) depende de la cantidad de km circulados por vehículos pesados ( $P$ ) y livianos ( $L$ ). Dada la diferencia de masas entre  $P$  y  $L$ , se suponen víctimas sólo para vehículos livianos.

De esta forma, el riesgo de accidente para los conductores de vehículos livianos es igual a:

$$r = \frac{X}{L} = r(P, L)$$

Así, el costo esperado total de accidentes entre ambos tipos de vehículos está dado por la ecuación:

$$CT = a \cdot r \cdot L + c \cdot X$$

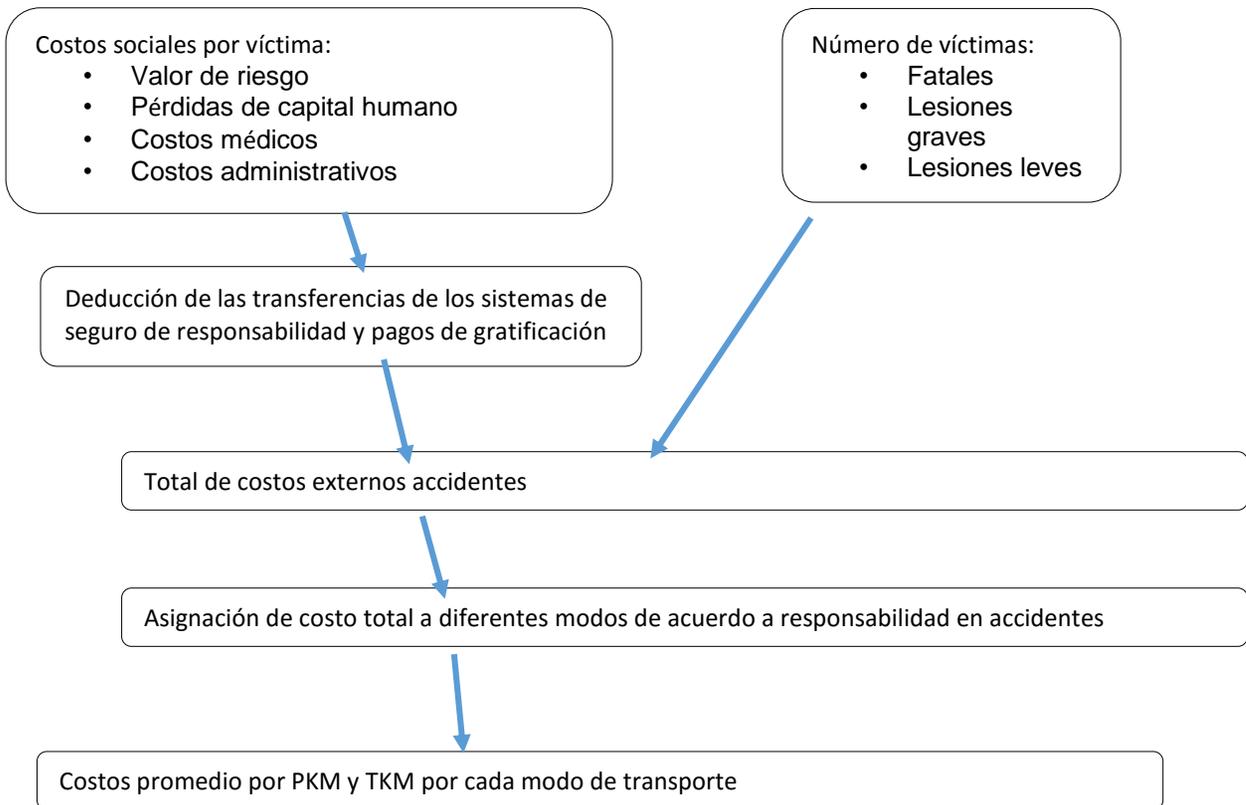
### 8.1.4. INFRAS

Las variables que se consideran en el estudio [2], son las siguientes:

Efecto	Muertos	Lesionados
Valor de riesgo	Utilidad de pérdida y sufrimiento cercanos	Sufrimiento de víctima y cercanos
Pérdidas de capital humano	Pérdida de productividad debido a la reducción del tiempo de trabajo	
Asistencia médica	Costos médicos antes del fallecimiento	Costos médicos hasta recuperación
Costos administrativos y judiciales	Costos para la policía, justicia y seguros (no soportados por la víctima)	
Daños a la propiedad	No se incluye: pagados por seguros	

Tabla 16: Variables que se consideran por ítem. Fuente: INFRAS 2004.

La metodología a seguir por INFRAS se resume en el siguiente esquema:



Donde:

- PKM: pasajero-kilómetro transportado
- TKM: tonelada carga –km transportada

## 8.2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Esta externalidad contempla el costo total que generan en la sociedad los gases que son emitidos por diversas actividades humanas al aire. Los principales gases utilizados en las diversas metodologías a nivel mundial son: MP10, MP2.5, CO2 y NOx (material particulado inferior a 10 micrómetros, material particulado inferior a 2,5 micrómetros, dióxido de carbono, óxido de nitrógeno, respectivamente).

### **8.2.1. INFRAS**

En INFRAS [3] estos daños son diferenciados en 3 categorías, siendo el PM10 el contaminante considerado en sus cálculos:

- Daños a la salud humana
- Daños a las edificaciones
- Daños a las cosechas

A continuación se explicarán el método que actualmente se usa en los países europeos para medir esta externalidad de acuerdo al documento INFRAS, que es la metodología más completa que actualmente existe sobre esta externalidad (RIZZI, CONAMA, MMA desarrollan otras metodologías vistas que se basan en gran parte en INFRAS).

#### **Daños a la Salud**

Estos daños son generados principalmente por las PM 2.5, PM10 (estos materiales son generados por la combustión interna del motor además de por procesos externos a éste, como pueden ser los frenos, los neumáticos entre otros que generan partículas en suspensión en el aire) y O3 (ozono). Lo anterior debido a que en la mayoría de los países cuando fue generado el documento INFRAS 2004, estos gases eran los emitidos en mayor cantidad y fueron identificados como los que generaban un efecto negativo en la salud. Sin embargo INFRAS utilizó solo el PM10 en sus cálculos de daños a la salud.

Además, destacar que poseen una base de datos confiable y medida durante años de estos contaminantes y con baja tasa de error. En Chile se tienen los mismos vehículos que en la mayoría de los países donde se realizaron estas mediciones y con las mismas restricciones de emisiones, por lo que se podrían homologar estas mediciones de gases por tipo de vehículo con bastante seguridad. Una vez se tienen los datos de las emisiones de estos contaminantes generados por el proyecto en cuestión (de acuerdo a los vehículos usados y su uso durante el proyecto), entonces se tiene el primer paso para valorizar esta externalidad.

El segundo paso es lograr generar un indicador base, que permita conocer el número de personas afectadas por estos contaminantes (habitantes de las zonas por donde pasa el proyecto), mediante una función de emisión-exposición que permita conocer los efectos de las concentraciones de PM10 y O3 en el aire. El resultado de esta función es una línea base fija, de la cantidad de gente que es afectada para una serie de enfermedades categorizadas como resultantes de la exposición a estas partículas en el aire. Según el INFRAS 2004, las enfermedades que son causadas por la exposición a estos contaminantes son:

- Mortalidad en el largo plazo (adultos  $\geq$  30 años)
- Admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias
- Admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares
- Incidencia en bronquitis crónica
- Bronquitis
- Días de actividad restringida
- Ataques de asma (niños  $\leq$  15 años)
- Ataques de asma (adultos  $\geq$  15 años)

La medida base de exposición-emisión que se busca obtener es la cantidad de personas enfermas en un millón de habitantes por la emisión de 10 microgramos por metro cúbico de estos contaminantes en el aire.

A modo de ejemplo para Chile, se muestra una tabla de línea base generada por CONAMA (Ambiente Consultores Ltda, 2007) [17] en una evaluación social de externalidades en 2007 de contaminantes de estufas, que siguen la línea metodológica del INFRAS. Las enfermedades ilustradas en las tablas, son más que las pedidas por el INFRAS, pero pueden ser cuantificadas de igual forma y utilizadas como una base que sirve de precedente para la actual investigación.

Efectos	MP2.5 (ug/m3)	
	Valor Medio	90% CI
Muertes (largo plazo)	32,6	(21,3 - 43,4)
Bronquitis Crónica	33,4	(18,8 - 43,9)
Muertes Neonatales	6,70	(3,62 - 9,54)
Muertes Prematuras	5,42	(3,25 - 7,57)
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	15,1	(9,22 - 21,9)
Adm. Hosp. COPD (ICD 490-496)	1,50	(1,15 - 1,84)
Adm. Hosp. CVD (ICD 390-429)	1,84	(0,09 - 3,89)
Adm. Hosp. Cardio Congestiva (ICD 428)	0,44	(0,22 - 0,65)
Adm. Hosp. Cardio Isquémica (ICD 410-414)	0,71	(0,28 - 1,12)
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	1,77	(1,23 - 2,30)
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	0,25	(0,11 - 0,39)
Ataques de Asma	1.214	(459 - 1.970)
Bronquitis Aguda	57,0	-(0,81 - 84,8)
Visitas Sala Emergencia Asma (ICD 493)	1,01	(0,49 - 1,5)
Consultas Infantiles IRAbaja	132	(49,0 - 214)
Días Perdida Trabajo (WLDs)	10.225	(9.029 - 11.399)
Días Actividad Restringida (RADs)	8.330	(5.812 - 10.442)
Días de Actividad Restringida Menor (MRADs)	34.983	(29.715 - 40.253)

Tabla 17: Coeficiente de impacto medio (Número de efectos por ug/m3 de MP2.5 por año por millón de personas de la población total). Fuente: CONAMA 2007.

Efectos	O3 (ppb)	
	Valor Medio	90% CI
Muertes Prematuras	1,0	(0,3 - 1,6)
Adm. Hosp. RSP (ICD 460-519)	18	(0,0 - 46)
Adm. Hosp. COPD (ICD 490-496)	1,3	-(3,0 - 4,8)
Adm. Hosp. Neumonía (ICD 480-487)	6,2	(0,0 - 11,5)
Adm. Hosp. Asma (ICD 493)	4,0	(0,6 - 7,5)
Ataques de Asma	832	(320 - 1.336)
Visitas Sala Emergencia RSP	123	(70 - 170)
Visitas Sala Emergencia Asma (ICD 493)	10,2	(1,8 - 18,6)
Consultas Infantiles IRAbaja	136	(72 - 200)
Días de Actividad Restringida Menor (MRADs)	10.050	(5.318 - 14.700)
Síntomas Respiratorios	30.891	(7.192 - 54.590)

Tabla 18: Coeficiente de impacto medio (Número de efectos anuales por partes por billón de O3 por millón de personas de la población total). Fuente: CONAMA 2007.

Notar que CONAMA decidió incluir el efecto del Ozono (O3), además del PM10 en sus cálculos, debido a que tenía una buena estimación de éste.

Una vez calculadas estas tablas, se debe valorizar cada uno de los cuadros de enfermedad generados por las emisiones. Esto se logra multiplicando estas cantidades por los precios sociales promedio cobrados en los centros asistenciales y hospitales de las zonas afectadas por atender y tratar cada una de estas enfermedades. En el fondo, se calcula un valor promedio de la disposición a pagar de las personas por ser tratados de estas enfermedades. Para obtener el costo social de cada una de estas enfermedades se multiplica el precio social de una atención por la cantidad de personas afectadas según la función de emisión-concentración y por la concentración de contaminantes en la zona del proyecto en microgramos por metro cúbico.

Finalmente, sumando cada uno de estos resultados, se obtiene entonces el costo social de “daños a la salud” provocado por el proyecto. Este valor debe ser comparado con el valor generado en la situación base optimizada o en la mejor alternativa al proyecto para luego distinguirlo como un beneficio por disminución de costos sociales o un costo propiamente por causar más enfermedades.

Esta es a grandes rasgos la metodología diseñada para calcular los daños a la salud, siendo el mayor desafío realizar una buena estimación de la función emisión-exposición para poder obtener la tabla que fije la base de cómo serán afectadas las personas expuestas al proyecto, ya que se deben usar modelos para calcular las concentraciones.

## Daños a las edificaciones

El daño a las edificaciones es generado principalmente por los gases denominados como NO<sub>x</sub>, siendo los más populares el NO<sub>2</sub> y el NO. Conociendo la cantidad de estos gases emitidos por el proyecto evaluado y por la situación optimizada sin el proyecto, INFRAS postula usar la siguiente fórmula para calcular las pérdidas generadas por la reparación de los daños a las edificaciones que fueron causa de estos gases.

$$BD = \beta * \frac{NO_x \text{ Emisiones}}{\text{Área territorial}} * \text{Superficies construidas} * PPP$$

Donde:

- BD se refiere a los daños a los edificios medidos en [EUR\*ton/t].
- PPP es un factor de ajuste de la “paridad de poder adquisitivo” de cada uno de los países. Siendo el PPP de Chile igual a 30%. Siendo EEUU la referencia con un valor de 100% se traduce en que los bienes consumidos en Chile, son en teoría 70% más baratos que en los EEUU.

## Daños Agrícolas

El daño a las cosechas usa el mismo concepto que el daño a las edificaciones, es decir, se valorizan las cosechas perdidas en un área afectada producto de la contaminación de los gases NO<sub>x</sub> emitidos por el proyecto. Se compone de un coeficiente y es expresado finalmente en las unidades de [Ton\*EUR/t]:

$$CL = \alpha * \frac{NO_x \text{ Emisiones}}{\text{Área territorial}} * \text{Producción agrícola}$$

### 8.2.2. Ministerio del Medio Ambiente

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) [9] propone una metodología similar a la de INFRAS en varios aspectos como se verá a continuación. La manera en que se valorizan los costos por contaminación ambiental consta de 3 etapas:

- i. Identificación de impactos: Detectar los impactos que producen los contaminantes a evaluar.
- ii. Cuantificación: Relacionar la concentración de contaminantes con el número de casos del efecto o el nivel de impacto de ellos.
- iii. Valorización: Estimar los efectos, en términos monetarios, para así contraponerlos con los costos y evaluarlos.

Dentro de la identificación de impactos se deben definir los alcances:

- Geográficos
- Temporales
- Contaminantes
- Fuentes Emisoras
- Receptores
- Efectos
- Escenario

En donde, los contaminantes que interesan son MP10, MP2.5, NOX, O3 y CO2, y las fuentes que interesan son las móviles.

Respecto a los receptores, existen 2 tipos:

- Población: La población que forma parte del análisis debe ser toda aquella que está comprendida dentro del alcance geográfico. Se recomienda identificar y definir grupos sociales vulnerables pertenecientes a ella (por ejemplo: niños, adultos mayores, población de bajos ingresos, entre otros). Esto debido a que en los pasos posteriores del AGIES se deben realizar análisis sobre las distribuciones, tanto de costos como de beneficios, según los agentes sociales afectados.
- Cultivos y Edificaciones: Los cultivos y edificaciones afectados son todos aquellos comprendidos en el territorio considerado por la norma o plan a evaluar. Se deben definir tanto la ubicación de los terrenos como también el tipo de cultivo, y materiales de construcción. Cada cultivo y material tiene una susceptibilidad distinta a las concentraciones de contaminantes por lo que se requiere una identificación detallada del tipo y ubicación de los sembradíos y zonas urbanas.

Luego, dentro de la etapa de cuantificación de los contaminantes hay que considerar los factores de variación de las fuentes emisoras:

- Condiciones de marcha
- Tipo de combustible
- Tecnología de las fuentes
- Condiciones climáticas

Y el cálculo de las emisiones se realiza de la siguiente manera:

$$Emisión_{ij} = FactorEmisión_{ij} * NivelActividad_j$$

Donde:

- $Emisión_{ij}$ : Emisión [gr/año] del contaminante i por la fuente emisora j
- $FactorEmisión_{ij}$ : Factor de emisión del contaminante i para la fuente emisora j (ejemplo: gr/km, gr/hr, etc)
- $NivelActividad_j$ : Nivel de actividad de la fuente emisora j

Con lo anterior se obtendrá una buena estimación de cuantas toneladas de cada contaminante de interés produce el proyecto.

Finalmente y a partir de los datos de emisiones se espera poder obtener una tabla de emisión-concentración tal como lo propone el INFRAS, que permita traducir la cantidad de toneladas de contaminante puesto en el aire por el proyecto y traducirlo a una cantidad de concentración en el aire medida en micrómetros por metro cúbico.

Los 3 modelos más comunes para obtener una relación de emisión-concentración son los siguientes:

### **Modelo Fotoquímico**

Este tipo de modelo tiene la capacidad de formar complejas transformaciones fotoquímicas de las emisiones en la atmosfera. Esta facultad permite al modelo proyectar tanto contaminantes atmosféricos primarios como secundarios. Los modelos fotoquímicos separan el terreno de evaluación formando grillas. La cantidad de celdas (por ejemplo, 4 km por 4 km) por terreno definen la resolución del modelo, mientras mayor resolución es mayor la exactitud. La grilla permite descifrar como la contaminación atmosférica se forma, acumula y disipa.

### **Modelo de Dispersión**

Los modelos de dispersión atmosférica son los más utilizados para proyectar los impactos en la calidad del aire para los contaminantes primarios y gases de efecto invernadero. Estos modelos realizan complejas ecuaciones matemáticas usando los inventarios, escenarios e información meteorológica para estimar los procesos de transporte y remoción de las emisiones desde su fuente hasta la locación de impacto. Luego, el modelo utiliza esta información para predecir las concentraciones ambiente de los contaminantes en una ubicación dada.

La ventaja de estos modelos, comparado con los más complejos, es que requieren una menor cantidad de información. Sin embargo, las simplificaciones que se realizan en estos modelos los hace incapaces de estimar las concentraciones de contaminantes secundarios, que pueden llegar a tener un impacto considerable en la salud y agricultura. El método clásico de los modelos de dispersión consiste en modelar las emisiones como una descarga constante a la atmosfera situada en el origen de un eje cartesiano de tres dimensiones.

## **Modelos Aproximados**

Debido a la común falta de información o de recursos para utilizar modelos fotoquímicos y de dispersión surge la posibilidad de usar modelos aproximados para determinar la relación entre emisiones de contaminantes primarios y concentraciones resultantes de contaminantes primarios y secundarios. Un ejemplo es el uso de un modelo del tipo rollback simple en el que se supone una relación lineal entre las emisiones de un contaminante y la concentración que genera, lo que permite construir los factores emisión - concentración (FEC).

Con la aplicación de los modelos y sus resultados, se debe proceder a crear una tabla de emisión – respuesta, que es la que define cuántos casos de enfermedad en la población afectada son causados por una concentración de microgramo de un contaminante por cada metro cúbico.

Finalmente, para la etapa de valorización de las enfermedades se utilizan los precios sociales asociados a cada caso de enfermedad.

### **8.3. Cambio Climático**

El cambio climático es un fenómeno producido por un calentamiento global como consecuencia de la imposibilidad de evacuar al espacio la energía solar que recibe la Tierra y causado por la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

A continuación un resumen de la recopilación bibliográfica que se ha realizado para analizar metodologías de evaluación de costos del cambio climático.

#### **8.3.1. INFRAS**

IINFRAS [2] enfatiza que en la UE el sector de transporte juega un papel importante en la discusión de los gases de efecto invernadero. Es el sector económico con mayor crecimiento (47% de crecimiento desde 1985 en UE) y consume más del 30% de la energía final.

Dentro de los gases que generan efecto invernadero se encuentra el CO<sub>2</sub>, el metano y el NO<sub>x</sub> como los principales causantes, sin embargo, INFRAS solo considera el CO<sub>2</sub> para los cálculos.

El costo de las emisiones de CO<sub>2</sub> son básicamente calculadas mediante la multiplicación de la cantidad de CO<sub>2</sub> que es emitida por un factor de costo. Este factor corresponde al valor sombra por tonelada de CO<sub>2</sub>, y depende fuertemente de los objetivos de las políticas y estrategias respecto al cambio climático.

Como el valor sombra puede variar mucho dependiendo de las políticas y la importancia del cambio climático, INFRAS define tres escenarios bajo los cuales evalúa un costo de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por ejemplo, para objetivos poco ambiciosos y de corto plazo de reducción de emisiones, recomienda utilizar valores sombra bajos (Escenario Bajo – 20 euros por ton de CO<sub>2</sub>). Se considera apropiado utilizar un valor sombra alto, mayor al necesario para alcanzar objetivos de largo plazo (Escenario Alto – 140 euros por ton de CO<sub>2</sub>), debido a que el sector transporte (especialmente el referido a ferrocarriles) está caracterizado por sus inversiones de largo plazo. Asimismo, los objetivos a largo plazo deberían ser rigurosos para alcanzar la sustentabilidad en el sector.

### **8.3.2. Rizzi**

Rizzi [10] menciona que el costo externo por emisiones de CO<sub>2</sub> de fuentes móviles, se obtiene multiplicando el total de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas por el precio del bono de tonelada de carbono. Las emisiones de CO<sub>2</sub> de fuentes móviles en la RM representan el 39% de las emisiones totales del país. Puesto que Chile contribuye con el 0,23% del total de las emisiones planetarias de CO<sub>2</sub>, las emisiones de fuentes móviles de la RM de Chile son despreciables con respecto al total y no deberían ejercer influencia alguna en el precio del bono, que es de US\$1,81 para el año 2001.

### **8.3.3. Barbero**

El estudio de Barbero [16] dice que la recolección y análisis de información para la medición del carbono en el sector para estimar las emisiones actuales y las que podrían resultar de la aplicación de políticas de mitigación incluye básicamente tres pasos:

- i. Elaborar una línea de base para el análisis y monitoreo de la actividad del sector, el consumo de combustibles, las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes;

- ii. Elaborar proyecciones de actividad del transporte considerando cambios en los costos, usos del suelo y otras variables que puedan alterar la demanda y el consumo de combustible, para así poder estimar niveles de emisiones futuras;
- iii. Evaluar el impacto de políticas orientadas a mejorar la calidad y sostenibilidad del sector, así como reducir sus emisiones.

Esto puede ser realizado utilizando un esquema denominado ASIF:



Ilustración 3: Metodología ASIF. Fuente: Barbero 2012.

La información para realizar estas estimaciones en general es muy escasa y solo permite valoraciones muy generales que limitan las posibilidades de evaluar el impacto de las políticas de mitigación de emisiones. De todas formas, para los propósitos del proyecto, no es necesaria tanta información, y muchas variables podrían ser reducidas.

### 8.3.4. Bellera

Bellera [17] comenta que respecto al cálculo de las emisiones producidas por el modo ferroviario, existen dos fuentes principales emisoras de contaminantes: las locomotoras diésel y las centrales generadoras de energía eléctrica que será posteriormente consumida para la tracción ferroviaria.

Todo el transporte ferroviario eléctrico está libre de contaminación atmosférica local directa; no obstante, el proceso de obtención de la energía (centrales eléctricas) sí genera emisiones y estas deben tenerse en cuenta en la cuantificación de la contaminación de los trenes eléctricos. Las actividades incluidas dentro de la generación de electricidad, incluyen:

- Los procesos de la planta de energía para la generación de electricidad a partir de carbón, lignito, petróleo, coque y gas de alto horno, biomasa, energía nuclear, hidroeléctrica y eólica,
- La producción de estos combustibles,
- La distribución de electricidad a los consumidores con una gestión adecuada y con las correspondientes pérdidas del transformador.

Así, la cadena de obtención de energía para combustibles y electricidad es la que se muestra a continuación.

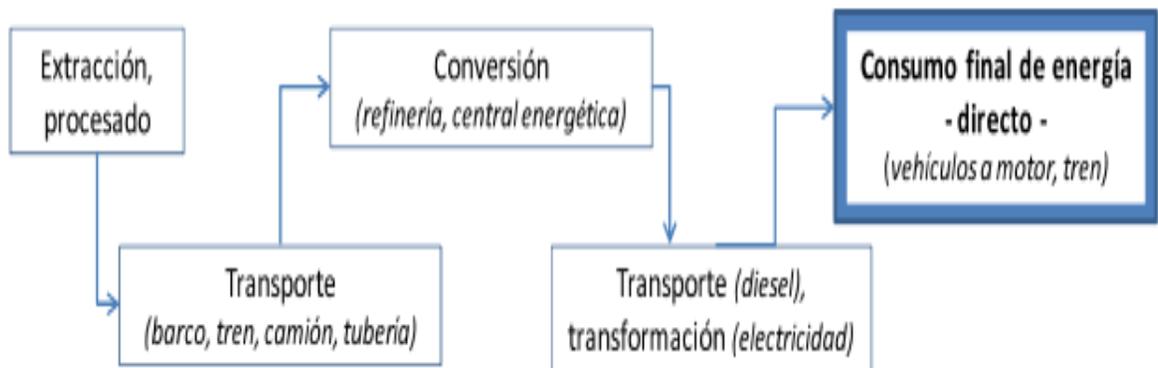


Ilustración 4: Cadena de obtención de energía para combustibles y electricidad. Fuente: Bellera 2013.

El resultado de las emisiones ferroviarias está ligado a la combinación de la producción de electricidad de cada país (mix energético). Además, solo dos tipos de combustible (carbón y gas natural) emiten NOX cuando son utilizados para generar electricidad.

El consumo de electricidad procedente de centrales energéticas que utilizan combustible “contaminante”, supone una emisión a la atmósfera de NOX según la siguiente proporción:

$$Emisiones_{fuentes\ contaminantes} = \frac{g_{NOX}}{kWh} * \frac{kWh}{tren - km}$$

A continuación una tabla con algunos valores de factores de emisión asociados a la producción de energía:

Fuente	CO <sub>2</sub> (g/kWh)	NO <sub>x</sub> (g/kWh)
TRENDS / DB / INFRAS (1995) <sup>(1)</sup>	486,58	0,946
Oficina Catalana del Canvi Climàtic (2011)	181	--
WWF – Spain (dato para 2010)	166	0,217

Tabla 19: Ejemplos de valores de factores de emisión. Fuente: Bellera 2013.

Por supuesto, para el caso de Chile es necesario considerar los factores de emisiones apropiados para el país, y además asegurarse de que sus valores estén actualizados.

Los principales gases de efecto invernadero son:

- Dióxido de carbono
- Vapor de agua
- Ozono
- Metano
- Óxidos de nitrógeno

Las emisiones mayoritarias en el sector del transporte son el CO<sub>2</sub> y el NO<sub>x</sub>, siendo el resto de emisiones despreciables. Estas emisiones mayoritarias tienen un potencial de calentamiento global (GWP) específico, como se detalla en la siguiente tabla:

Gas de efecto invernadero	Potencial del calentamiento global (GWP)
CO <sub>2</sub>	1
NO <sub>x</sub>	296

Tabla 20: Potencial de calentamiento global de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>. Fuente: Bellera 2013.

De esta forma, el equivalente de CO<sub>2</sub> se calcula según la siguiente expresión:

$$\text{Equivalente de CO}_2 = \text{GWP}_{\text{CO}_2} * \text{emisiones CO}_2 + \text{GWP}_{\text{NO}_x} * \text{emisiones NO}_x$$

Con esta información, puede calcularse el costo del cambio climático:

$$\text{Costo del cambio climático} = \text{Equivalente de CO}_2(t_{\text{CO}_2}) * \text{Valor emisiones} \left( \frac{\$}{t_{\text{CO}_2}} \right)$$

Se recomienda calcular el costo monetario de las emisiones equivalentes de CO2 considerando los costos de mitigación de los daños producidos por dichas emisiones. Así, se proponen tres niveles distintos de exigencia de mitigación de daños.

Además, se recomienda calcular las emisiones como la suma de tres fases:

- a) Construcción de la infraestructura
- b) Construcción del material móvil
- c) Operación

En cuanto a la fase de la operación, las mejoras en la eficiencia energética previstas para los próximos años repercutirán en un menor consumo de carburante por km recorrido, y por lo tanto, en una reducción de las emisiones de CO2 y NOX. Ello debe tenerse en cuenta a la hora de calcular el impacto del costo del cambio climático.

### **8.3.5. MAPS**

El estudio de Mitigation Action Plan & Scenarios (MAPS) [18] realiza una metodología para proyectar una línea base de emisiones de CO2 en Chile a partir del año 2013. Ésta se divide en 3 etapas:

1. Definición de series históricas que describen la evolución de la demanda de transporte de carga y transporte de pasajeros para los 4 modos viales: aéreo, marítimo, ferroviario y caminero.
2. Proyección de las variables de entrada que utiliza el modelo de emisiones, PKM (pasajero por kilómetro) y TKM (tonelada por kilómetro), que se basan en la información histórica y en el desarrollo de modelos de proyección regional.
3. Metodología específica que permite estimar las emisiones para el periodo 2030 – 2050, en base a las variables proyectadas y a la definición de parámetros específicos para cada modo de transporte.

Pasando directamente al modelo de cálculo de emisiones de CO2, éste se determina a partir de la variable demanda de transporte, ya sea de carga o pasajeros, según los distintos modos que apliquen a cada caso como se muestra en la siguiente figura:

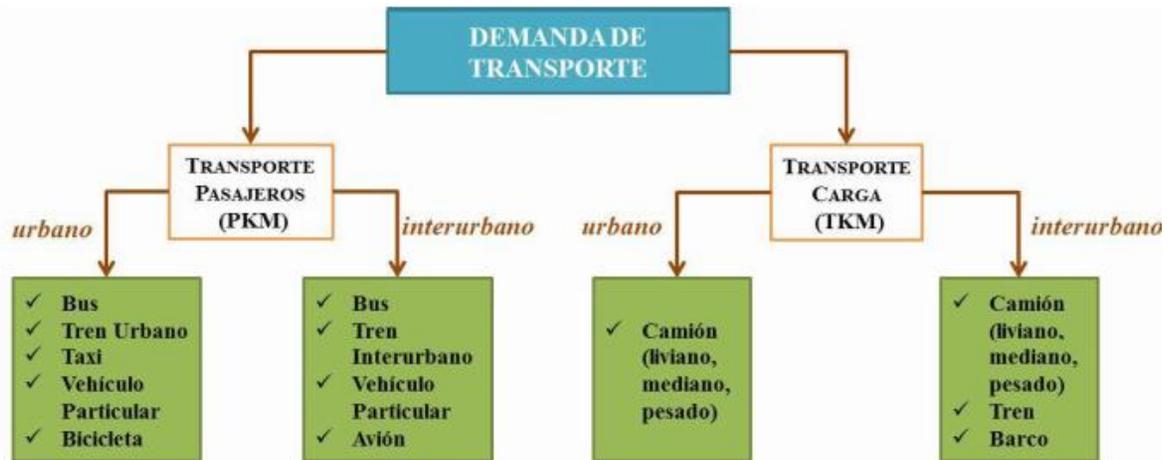


Ilustración 5: Apertura de modos según demanda y operación considerados en modelo de emisiones.  
Fuente: MAPS.

Entonces, MAPS genera distintas ecuaciones bajo las que se calculan los consumos energéticos de los medios de transporte y las emisiones que se generan por región en Chile, para así poder estimar el aporte al cambio climático de este medio, y desarrollar medidas de mitigación y estrategias a largo plazo.

#### 8.4. Cálculo del Valor de la Vida

El Valor Estadístico de la Vida (VSL) corresponde a la valoración monetaria que la sociedad atribuye a la vida de las personas. Utilizado principalmente para valorizar los costos que tiene para la sociedad la muerte prematura de un individuo (muerte a edad inferior que la esperanza de vida).

Asignar una valoración monetaria al valor de la vida no ha sido una tarea fácil ni libre de controversias, numerosos estudios han entregado distintos valores y sigue siendo materia de estudio. (Ver tabla VI en sección Anexos).

La literatura entrega dos enfoques para estimar este valor: Capital Humano y Reducción de riesgo de muerte.

#### Enfoque de Capital Humano (CH)

Estimación del costo de la muerte de una persona en base a lo que dejaría de producir como consecuencia de su muerte prematura. (Pérdida de productividad futura). Se basa en la hipótesis de que al morir un individuo existe un costo social para el país

producto de la pérdida de producción, es decir, el valor de prevenir la muerte de un individuo corresponde al valor presente de sus rentas futuras esperadas. [26]

Entre sus ventajas se puede citar que se obtiene a partir de datos concretos y comprobables (información pública), lo cual permite obtener resultados más robustos.

En efecto, la forma de calcular es la siguiente: se utiliza como aproximación a la productividad de los individuos los ingresos futuros esperados, el valor estimado corresponde a un promedio ponderado que considera toda la población nacional. El valor se estima a partir de la siguiente ecuación:

$$CH = \sum_{s=h} \sum_{a=0}^V R_{a,s} \cdot \sum_{n=a}^V \frac{P_{a,s}(n) \cdot E_s(n) \cdot Y_s(n) \cdot (1 + T)^{n-a}}{(1 + r^*)^{n-a}}$$

Donde:

CH: estimación del Capital Humano promedio de la población

n: el año de CH para el fallecido de edad a / a: edad del fallecido

s: género del fallecido, hombre (h) o mujer (m)

Ra,s: proporción de la población total nacional en edad (a) y de género (s)

Pa,s(n): probabilidad de una persona (edad (a) y género (s)) de sobrevivir subsecuentemente a edad (n)

Es(n): proporción de la población general de edad (n) y género (s) empleada en la fuerza laboral

Ys(n): ingreso medio anual de la persona empleada de género (s) y edad (n)

V es la edad máxima de la población

T es la tasa de aumento de la productividad de la población

r\* tasa social de descuento

Esta ecuación entrega un valor único y equivalente, representativo de toda la población nacional, por lo cual puede usarse en cualquier proyecto que evita una muerte prematura sobre una población determinada. Supuesto: estimación es ex-ante y no ex-post.

Para la estimación se recopiló información actualizada al año 2009 de distintas fuentes: INE, CASEN, SII y MINSAL a través de CONASET. Como resultado se obtuvo la estimación: Capital Humano 3.133UF \$/fallecido

## Desventajas

El enfoque de Capital Humano presenta críticas en cuanto a que no incorpora la perspectiva de la economía del bienestar, es decir no considera el bienestar de los individuos, sus preferencias, y su disposición a pagar por ese estado de bienestar. Por lo cual subestima la disposición a pagar de las personas ante cambios en el riesgo de muerte y no refleja la valoración por la vida.

Algunos alcances: así como se considera “lo que se deja de producir”, también hay quienes sostienen que es necesario considerar “lo que se deja de consumir”, es decir, con la muerte prematura existe una pérdida de productividad y también hay liberación de recursos (punto en discusión actualmente). Otro punto de controversia es que el valor de la vida calculado por el enfoque de capital humano está directamente ligado a las rentas del individuo, por lo tanto, dependerá del género, lugar de procedencia (comunidades más o menos pobres), tipo de labor productiva (mercado formal o informal), edad (ancianos valdrían menos que un adulto) etc. Lo que provoca al menos un dilema ético acerca de la diferente valoración de las vidas de las personas. Al menos este valor sirve de cota inferior para las estimaciones calculadas por otras metodologías.

## Enfoque de Reducción de Riesgo de Muerte

A diferencia del enfoque de capital humano, mide la disposición a pagar por parte de los individuos por disminuir su probabilidad de morir prematuramente.

Utiliza al menos dos modelos relacionados a los típicos modelos de estimación de valor para bienes sin mercados formales y se desarrollan a continuación.

**Modelos de Salarios Hedónicos:** basado en la teoría de Adam Smith sobre salarios compensatorios, la idea básica es que existen trabajos que son más agradables que otros, lo cual se ve reflejado en los salarios y sus respectivas diferencias como valor monetario que asignan los trabajadores a dichas diferencias de condiciones laborales. Si los trabajadores son libres de elegir entre distintos trabajos la técnica de precios hedónicos puede ser aplicada.

Además con datos acerca de salarios, atributos de los trabajos y características de los trabajadores se puede estimar una función hedónica de salarios. Entre sus desventajas: supuestos de libre elección de los trabajos, multiplicidad de variables y la subjetividad de la percepción puede dar paso a estimaciones sesgadas de la disposición a pagar para disminuir el riesgo. Esto explica la variabilidad de resultados y se suma que esta metodología excluye a los individuos fuera del mercado laboral.

**Modelos de Valoración Contingente:** se utiliza cuando no existen mercados formales que permitan establecer el precio de un bien o servicio o, en este caso, el valor

que los individuos atribuyen al riesgo de una muerte prematura. Se basa en estudios de encuestas en que se pregunta por la disposición a pagar o compensación aceptada por evitar un perjuicio. Desventaja, alta subjetividad y costo de implementar encuestas.

En la tabla 2 se muestran algunas estimaciones de VSL [27]:

País	Fuente	Valor oficial basado en...	VSL MUSD
Nueva Zelanda	Trawén et al. (2002)	SP study (Miller and Guria, 1991)	1.790
Noruega	Trawén et al. (2002)	meta-analysis (Elvik, 1993)	2.051
Suecia	SIKA (2005)	SP study (Persson and Cedervall, 1991)	1.996
Reino Unido	UK DoT (2007)	multi-stage approach (Carthy et al., 2000)	2.308
EE.UU.	US DoT (2002)	meta-analysis (Miller, 1990)	3.309

Tabla 21: Ejemplos de Valores de VSL utilizados en políticas públicas, año 2005.

VSL estimado para US\$ año 2005. Valor transformado según Poder de Paridad de Compra (PPP) e Índice de precios del Consumidor (IPC), desde <http://stats.oecd.org>, 09/02/07. En esta tabla sólo se muestra ejemplos de VSL usado en políticas públicas.

Para Chile se cuenta con una estimación del Valor estadístico de la vida reportado por MMA (2013) al año 2015: 15.300 UF.

## Comentarios

Más allá de la controversia que puede generar el valorizar la vida de las personas, estas estimaciones deben entenderse como una herramienta para capturar los beneficios sociales en proyectos de inversión pública. De esta forma, el parámetro será útil para incorporar beneficios adicionales no capturados en proyectos que provoquen cambios en las tasas de mortalidad prematura y accidentabilidad.

Cabe hacer una aclaración de lo recién expuesto, en que los proyectos cuyo foco es “salvar vidas” corresponden a proyectos del sector salud, y por lo tanto se basan en el enfoque de mínimo-costos. Por lo que un ejercicio interesante sería plantear como alternativa la aplicación del enfoque de mínimo-costos a la evaluación de la externalidad “accidentabilidad” y para ello se propone construir una curva: “Infraestructura vs Accidentabilidad”.

Esto, dado que la experiencia internacional sugiere que mejoras en la seguridad vial pueden ser decisivos en la selección de proyectos debido a la reducción de la tasa de

accidentabilidad que los proyectos implican. Así mismo, la experiencia nacional<sup>7</sup> muestra que los proyectos que mejoran las características viales, ya sea la carpeta de rodadura, geometría o la capacidad pueden producir un efecto significativo en la disminución de la accidentabilidad.

Entonces la idea, consiste en establecer el nivel de inversión necesaria para igualar la tasa de accidentabilidad en distintos modos de transporte, en este caso entre la vialidad (Ruta 68) y Ferrocarril.

De esta forma la secuencia de pasos sería:

- Generar para la situación sin proyecto, la infraestructura necesaria para obtener una tasa de accidentabilidad del mismo nivel que la calculada para la situación con proyecto.
- Calcular los costos en infraestructura, operación y mantenimiento para esta situación.
- Finalmente este valor serían los beneficios por disminuir la tasa de accidentabilidad.

Para ello se cuenta con algunos documentos de apoyo como:

- Manuales de costos de infraestructura ( Ejemplo: Manual ONDAC)
- “Metodología simplificada de estimación de beneficios sociales por disminución de accidentes en proyectos de vialidad interurbana “, Secretaría de Planificación del Transporte, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Mayo, 2011. (Ver en Anexo VII, tablas Infraestructura y Factores Reducción de Accidentes).

Las dificultades nuevamente se centrará en establecer con más precisión los datos de accidentabilidad y los cálculos dependerán de la formulación de cada proyecto y fecha de valorización de inversiones. [25].

---

<sup>7</sup> Jofré, 1981; González y Jofré, 1982

## **9. METODOLOGÍAS PROPUESTAS**

### **9.1. Accidentabilidad**

En el caso de accidentabilidad, MDS cuenta con una metodología ampliamente utilizada internacionalmente y que cumple con los estándares que se esperan para estimar los costos externos asociados a esta externalidad. Es así como se propone utilizar la misma metodología.

La discusión está puesta sobre el valor de las víctimas fatales, puesto que actualmente el MDS basa su valor en la metodología de capital humano (MCH), metodología cada vez más cuestionada por no representar y por subestimar el valor real de la vida. En Europa y en países desarrollados se utiliza un valor basado en la metodología de vida estadística (MVE), que estima el valor en base a lo que se está dispuesto a pagar por disminuir el riesgo de una fatalidad.

Por lo tanto, se propone utilizar los valores bajo la MCH y MVE, y compararlos, debido a que se prevé en un futuro MDS migre a utilizar un valor mayor al que resulta de MCH.

### **9.2. Contaminación Atmosférica**

Se usará como base la metodología INFRAS, y la parte de valoración de los beneficios de externalidades de la guía metodológica del Ministerio del Medio Ambiente. Con lo anterior, un resumen de la metodología a usar es el siguiente:

1. Disponer de un modelo que pueda predecir las emisiones de contaminantes por tipo de fuente.
2. Con los datos entregados por el modelo, alimentar el modelo de dispersión de contaminantes en la atmósfera, obteniendo el nivel de concentraciones de contaminantes a que está expuesta la población según áreas que afecta el proyecto ferroviario.
3. Aplicar funciones dosis – respuesta que permiten estimar los daños a la salud. Obteniendo los casos de morbilidad y mortalidad.
4. Valorizar el impacto total de la contaminación atmosférica sobre la salud de las personas y daños materiales (Método del costo de la enfermedad y capital humano).

### 9.3. Cambio Climático

A partir de la información expuesta en la revisión bibliográfica se elabora una metodología que contemple en su mayor amplitud las externalidades afectas al cambio climático que los modos caminero y ferroviario provocan.

Así, se propone medir las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a su relevancia en cuanto a su aporte al cambio climático se refiere, provocado en el sector de transporte. El proceso de medición de emisiones se divide en 2 etapas:

- Emisión Indirecta: Referida a la producción de la electricidad
- Emisión directa: Referida al consumo del diésel.

Las emisiones se calculan de la siguiente manera:

$$E[\text{tonCO}_2\text{eq}] = \text{NivelActividad} * \text{FactorEmisión}$$

Donde el nivel de actividad se refiere al consumo de diésel o electricidad por TKM o PKM, mientras que la unidad del factor de emisión puede ser:

$$\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{kWh}} \text{ o } \frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{lt diésel}}$$

Finalmente, se calcula el costo del cambio climático como:

$$\text{Costo del cambio climático} = \text{Equivalente de CO}_2(t_{\text{CO}_2}) * \text{Valor emisiones} \left( \frac{\$}{t_{\text{CO}_2}} \right)$$

## 10. APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS Y RESULTADOS

### Datos y Supuestos base:

Demanda Proyectada:

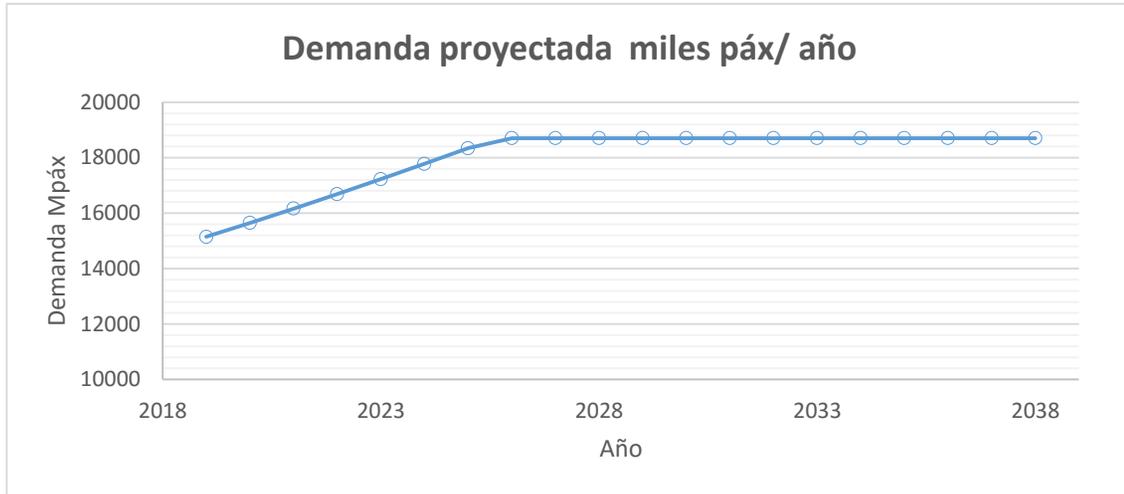


Ilustración 6: Demanda Proyectada servicio Ferroviario de Pasajeros Santiago-Valparaíso. Fuente EFE.

### Precios sociales:

El MDS en su metodología considera los siguientes valores sociales, correspondientes a los que entrega el Sistema Nacional de Inversiones (SNI) anualmente:

Nivel Gravedad	Costo Social (UF/Acc)
Leve	27,86
Menos Grave	36,34
Grave	133,52
Fatal	3462,69

Tabla 22: Costos sociales unitarios asociados a lesionados. Fuente: MDS.

Tipo de Accidente	Costo Social (UF/Veh)	
	Veh Liv	Veh Pes
Atropello	21,91	10,89
Choque	87,15	214,55
Colisión	80,33	322,37
Volcadura	210,76	423,1

Tabla 23: Costo Medio Social por daños a Vehículos Viales por tipo de accidente. Fuente: MDS.

Costos sociales unitarios ferroviarios (UF/veh)

Item	Atropellos	Colisiones a cruce a nivel
Daño Vehículo liviano	-	228,77
Daño Vehículo pesado	-	459,26
Daño Equipo Ferroviario	-	1724,67
Infraestructura y despeje de la vía	165,72	231,26

Tabla 24: Costos sociales unitarios ferroviarios (UF/veh). Fuente: MDS.

Estos precios sociales serán importantes para los cálculos de costos externos por accidentabilidad.

**Datos:**

- Evaluación a 20 años.
- Distancias de cada tramo:  
Actual: Santiago–Valparaíso de 187 [km]  
Proyecto: trazado total de 129 [km]  
Tramos existentes: Santiago–Til Til (49 [km]) y Limache-Valparaíso (44 [km]).  
Tramos a construir: Til Til–Limache (36 [km]) que cruce la cuesta La Dormida (túnel).

**Supuestos:**

- Ruta 68 como servicio sustituto. Tiempos de viaje en bus:  
Santiago – Valparaíso → 115 [km] → Tpo de viaje en bus: 1 hora 35 minutos  
Santiago-Viña del Mar → 120 [km] → Tpo de viaje en bus: 1 hora 50 minutos
- Servicios anuales de buses en tramo de Santiago a Valparaíso proyectados al año 2019, equivalentes a la cantidad de viajes evitados al construirse el proyecto ferroviario.
- El proyecto reduce los servicios de buses equivalentes a la demanda del proyecto, esto debido a la alta competitividad de la industria de transporte en el tramo en estudio. (Ruta 68)
- Los trenes de pasajeros son eléctricos, circulan a una velocidad promedio de 160 [km/hr], y tienen una potencia de 2000 [kW]. [20].
- Tasa de crecimiento de las demanda equivale a la tasa de crecimiento del tráfico de la Ruta 68 (8% anual).

- Tasa ocupación de buses: 65%
- Capacidad promedio buses interurbanos: 45 pasajeros
- Eficiencia de buses: 3,3 [km/litro]
- Tasa de crecimiento demográfico estimada: 0,84% [22]

### **Población Área de Influencia**

Las comunas y sus poblaciones por rango etario estimadas al año 2019 [22] pertenecientes al área de influencia del proyecto se muestran en la siguiente tabla:

n°	Comuna	Pob 2019	0-17 años	18 - 64	65 - 99	0-64
1	Santiago	384.711	55.046	270.452	60.973	325.498
2	Lampa	97.934	28.511	60.518	8.095	89.029
3	Quilicura	222.834	68.364	147.105	8.999	215.469
4	Renca	152.678	38.316	101.717	13.233	140.033
5	Quinta Normal	116.627	23.535	75.091	17.591	98.626
6	Estación Central	146.384	29.188	96.878	20.411	126.066
7	Valparaíso	296.007	61.528	193.217	41.262	254.745
8	Viña del mar	329.616	67.182	212.361	50.073	279.543
9	Quilpué	179.109	39.014	114.564	25.531	153.578
10	Limache	46.598	10.885	29.259	6.454	40.144
11	Olmué	16.305	3.867	10.046	2.392	13.913
12	Tiltil	18.251	4.992	11.193	2.066	16.185
13	Villa Alemana	152.035	35.533	96.446	20.056	131.979
	<b>TOTAL</b>	<b>2.159.089</b>	<b>465.961</b>	<b>1.418.847</b>	<b>277.136</b>	<b>1.884.808</b>

Tabla 25: Población área de influencia del proyecto.

A continuación se describe el procedimiento de los cálculos de cada externalidad en estudio:

## 10.1. Accidentabilidad

En accidentabilidad se deben considerar los accidentes que existirían en la situación con proyecto en el modo ferroviario, y la cantidad de accidentes que se evitarían en el modo vial caminero por el proyecto, siendo la diferencia el beneficio.

### 10.1.1. Procedimiento de Cálculo Accidentabilidad

Para calcular los costos de accidentabilidad se debe establecer por separado en modo ferroviario y modo carretera.

#### Accidentes en el modo ferroviario

Actualmente el servicio de pasajeros que más se asemejaría al proyecto en estudio es Merval, por su frecuencia y estándar de servicio. Lo que sumado a la escasez de datos de transporte ferroviario de pasajeros en Chile, dado que no existen muchos proyectos en operación con alta frecuencia, se determina utilizar los datos de Merval. [28]

Antecedentes Merval:

Se tiene la cantidad de pasajeros transportados anuales en Merval [28]:

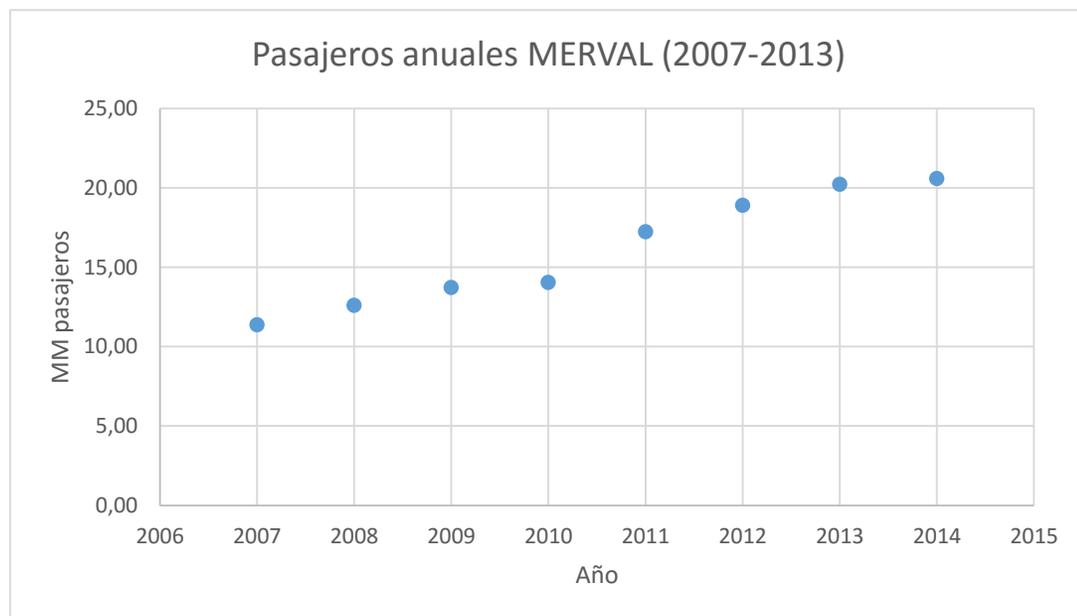


Ilustración 7: Pasajeros anuales Transportados Merval.

Y además el promedio de distancia por pasajero [28]:

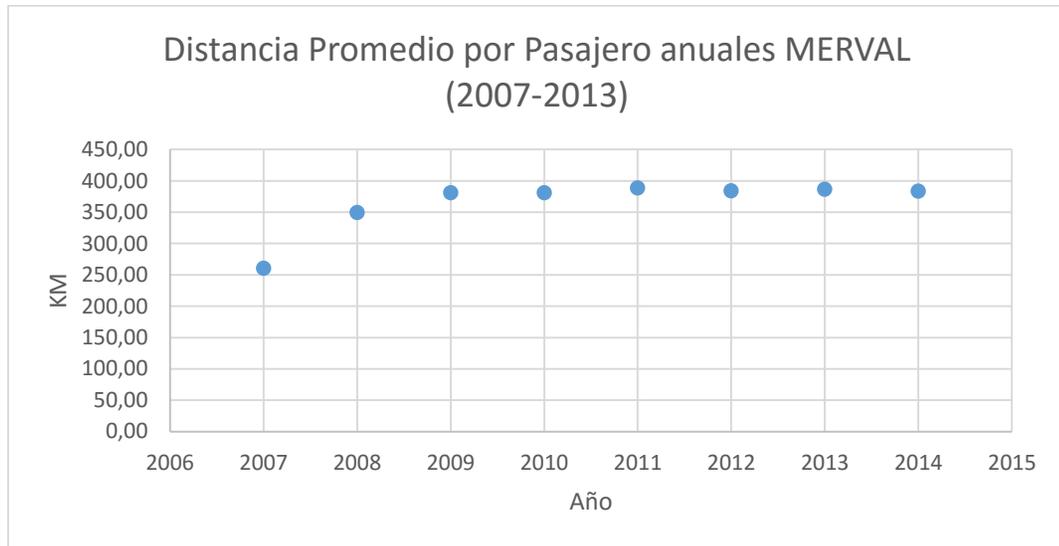


Ilustración 8: Distancia promedio por pasajero anual. Merval.

Obteniéndose la evolución de PASAJERO-KILOMETRO transportado:

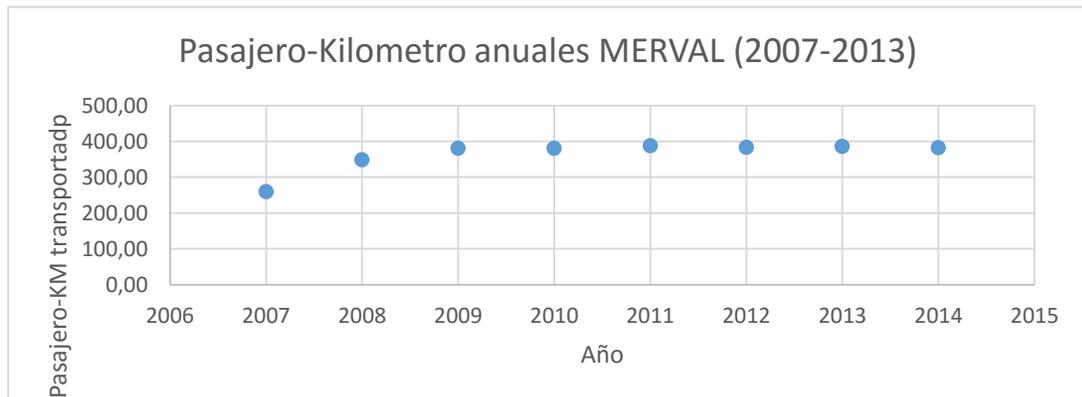


Ilustración 9: Pasajero\*Kilómetro transportado Merval.

Además se cuenta con la data de accidentes reportados en los últimos años en Merval [28]:

	Año	Atropello	Caída	Colisión	Choque	Volcadura	Otros	Muertos	Lesionados Graves	Menos Graves	Lesionados Leves
<b>Merval</b>	<b>2014</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Con esta información se puede obtener la relación nº Accidentes/páx-Km Transportado.

## Accidentes en el modo carretera

En este caso, el procedimiento de cálculo consiste en estimar cuántos accidentes se evitan en el modo definido como sustituto, la Ruta 68, como resultado de la demanda de pasajeros que captura el tren.

Se utilizan entonces los datos del MOP [33] que se muestran en las siguientes tablas para efectuar los cálculos correspondientes.

Tablas antecedentes Ruta 68:

Año	Total accidentes	Con Lesionados	Proporción
2010	713	191	27%
2011	573	179	31%
2012	632	194	31%
2013	754	267	35%

Tabla 26: Accidentes en Ruta 68 y proporción de lesionados.

Víctimas					
Año	Muertos	Graves	Menos Graves	Leves	Total Lesionados
2010	21	39	80	128	268
2011	25	28	60	186	299
2012	19	34	56	269	378
2013	16	36	57	276	385

Tabla 27: Tipología de víctimas de accidentes de tránsito en Ruta 68.

Tipos de accidentes con Lesionados						
Año	Atropello	Caída	Volcaduras	Colisión	Choque	Otros
2010	16	7	54	47	22	5
2011	14	6	69	60	17	12
2012	14	7	94	81	16	10
2013	14	7	112	106	22	6

Tabla 28: Tipos de accidentes en Ruta 68. Periodo 2010-2013.

Además se tiene que el 3,74% de los vehículos que circulan en la ruta son buses, que representan el 6,78% de participación en accidentes de tránsito (CONASET 2014)

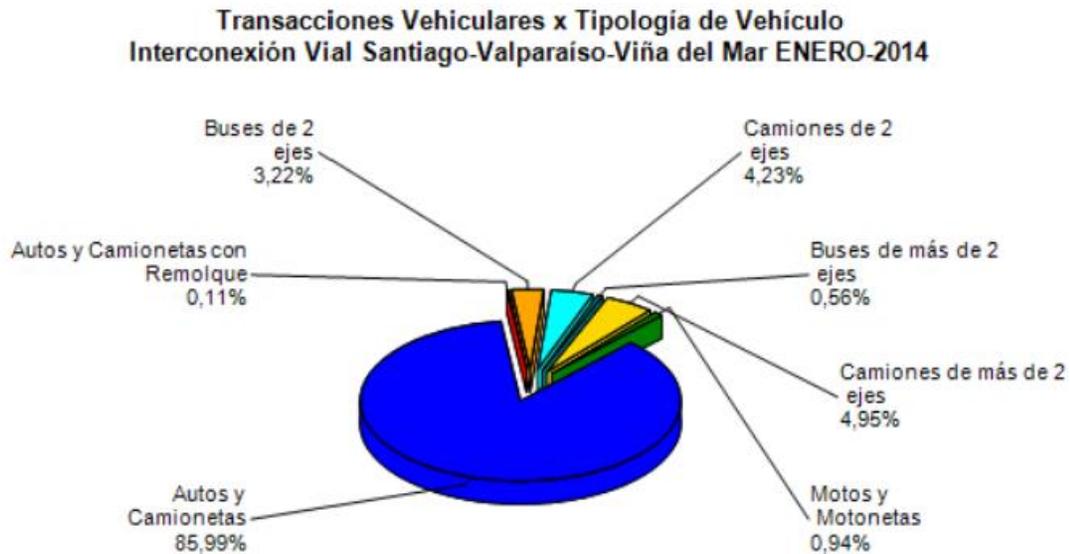


Ilustración 10 : Transacciones vehiculares Ruta 68. 2014.

Finalmente para calcular la tasa de crecimiento de viajes se utilizó datos de Transacciones en la Ruta 68 del periodo 2010-2013:

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
2010	2.618.748	2.387.632	1.975.440	2.019.711	1.987.366	1.814.170	2.059.536	1.966.711	2.141.135	2.206.303	2.137.986	2.451.441	25.766.179
2011	2.790.696	2.544.703	2.175.522	2.116.335	2.047.574	1.997.114	2.162.533	2.104.849	2.201.659	2.362.279	2.254.068	2.533.932	27.291.264
2012	2.958.455	2.830.606	2.403.236	2.264.254	2.183.560	2.097.625	2.429.235	2.262.835	2.413.350	2.435.552	2.570.825	2.780.655	29.630.188
2013	3.175.994	2.990.526	2.784.942	2.433.894	2.485.618	2.359.059	2.658.469	2.571.322	2.573.215	2.713.353	2.715.587	3.021.531	32.483.510

Tabla 29: Reporte histórico de transacciones Ruta 68. Fuente SICE.

De la tabla anterior se deduce que los viajes a Santiago-Valparaíso por esta Ruta tienen un 8% crecimiento anual, tasa que será utilizada para proyectar la accidentabilidad al momento de realizar los cálculos.

Con todos estos antecedentes, más los precios sociales expuestos al comienzo de este capítulo (tablas 16,17 y 18), se puede obtener los costos por accidentabilidad en base a pasajeros transportados en cada modo de transporte.

### 10.1.2. Resultados Accidentabilidad

Los costos por accidentabilidad del proyecto en el modo ferroviario diferenciados por metodologías del capital humano (CH) y vida estadística (VE) se muestran en la ilustración siguiente. La gran diferencia se debe a la diferencia de valor que se asigna a las víctimas fatales.

#### Método de Capital Humano:

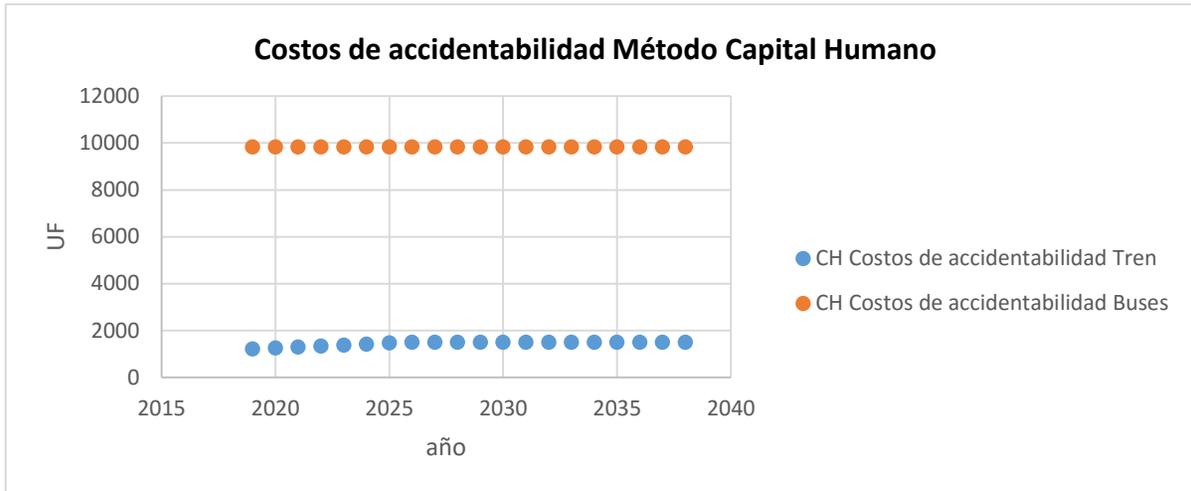


Ilustración 11: Cálculo de Accidentabilidad por Método se Capital Humano.

#### Método de Valor Estadístico de la Vida:

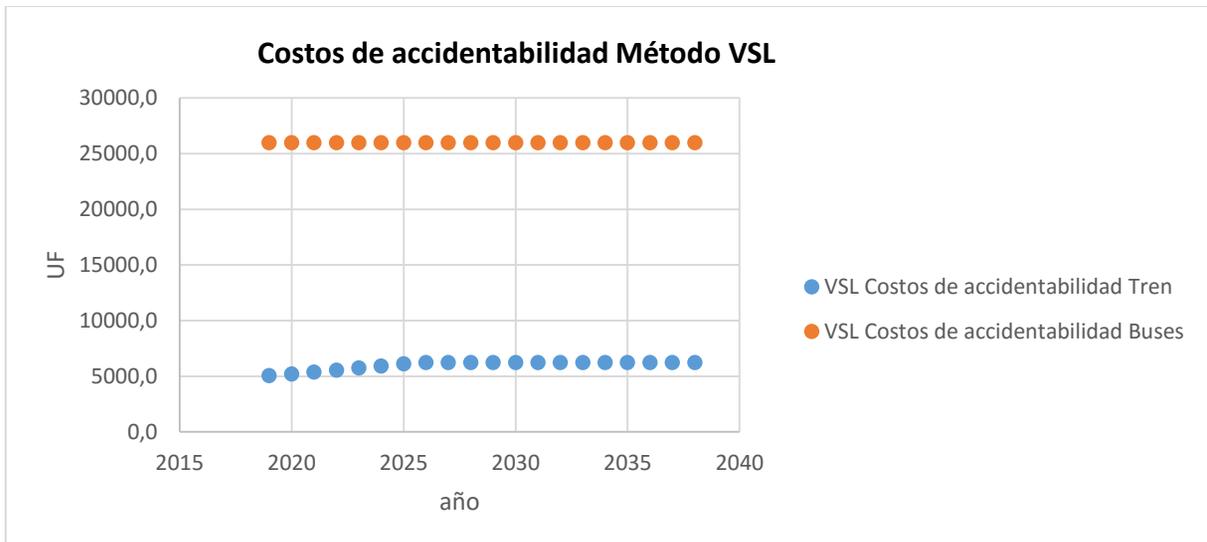


Ilustración 12: Cálculo de accidentabilidad por Método de Valor Estadístico de la Vida.

Gráfico del diferencial de costos calculado con CH y VSL:

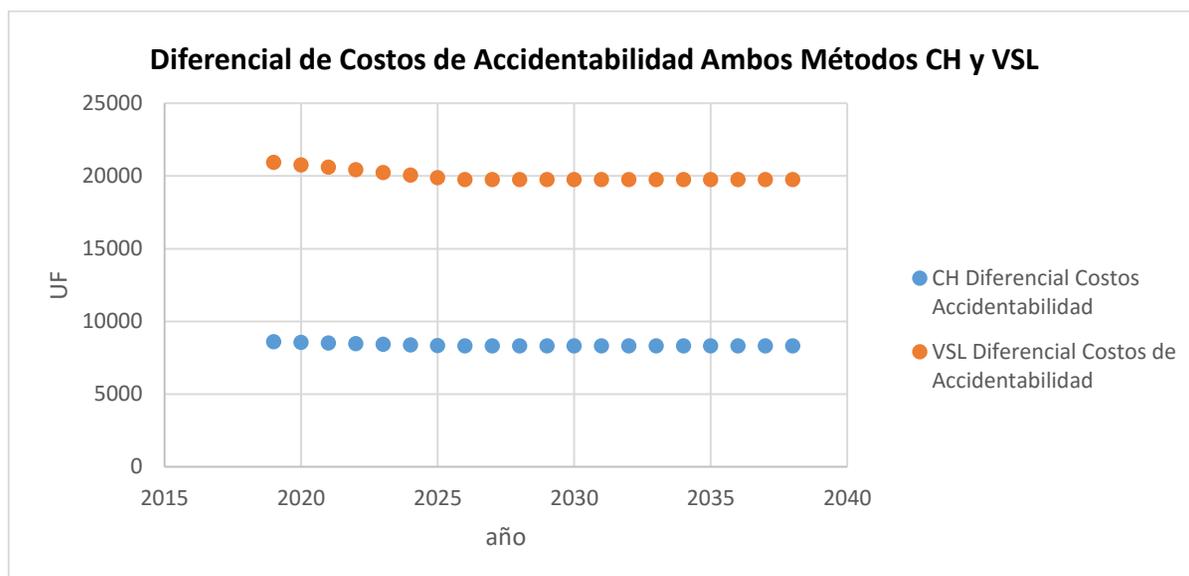


Ilustración 13: Diferencial de Costos por accidentabilidad entre métodos CH y VSL.

Se observa que el beneficio decrece en el periodo inicial producto de que cada vez se agrega menos demanda al servicio de trenes, hasta llegar a una cota estable al final del periodo.

Por lo tanto, el beneficio por reducción de accidentes de tránsito del proyecto asciende a 102.307,9 UF (CH) y 244.517,4 uf (VSL) en el periodo de 20 años de operación del proyecto. (VAN con tasa social de descuento de 6%, UF= \$25.000)

### Externalidad de Accidentabilidad en la Evaluación Social

Comparación del nivel de incidencia en el VAN del proyecto

	VAN Accidentabilidad [UF]	% VAN Proyecto	VAN con Accidentabilidad
Método CH	102.308	0,17%	60.201.607
Método VSL	244.517	0,41%	60.343.817

Por lo tanto, la accidentabilidad, bajo los datos y supuestos utilizados en este análisis, no es una externalidad que influya de manera significativa en la rentabilidad del proyecto como se esperaba de acuerdo a los resultados de INFRAS.

## 10.2. Cambio Climático

### 10.2.1. Procedimiento De Cálculo Cambio Climático

Para calcular los beneficios en el proyecto producto de cambio climático, se calcula:

1. Emisiones indirectas: emisiones indirectas del proyecto de trenes.
2. Emisiones directas: emisiones de CO<sub>2</sub> que dejarían de emitir los buses si se realiza el proyecto.

#### Emisiones Indirectas de CO<sub>2</sub> (trenes)

Para calcular las emisiones indirectas se debe conocer la cantidad de energía eléctrica anual utilizada por los trenes del proyecto. Y dado que esta energía es producida mediante diversas fuentes de energía base (matriz energética), se utilizan tablas del modelo MAPS que establecen una proyección de la composición anual hasta el 2050 de las fuentes de generación eléctrica (ver Anexos).

De la evaluación social entregada por EFE [31], se tiene la demanda proyectada anual ( Ver Ilustración 6), con lo cual utilizando los datos de capacidades de los trenes (414 pasajeros) y la tasa de ocupación (75%), se obtiene el número de viajes en tren.

Se realiza el cálculo equivalente para buses, utilizando la demanda que será transportada en tren, con capacidad promedio de los buses de 45 pasajeros y una tasa de ocupación del 65%, se obtiene 29,25 pasajeros por bus. Con esto se tiene la cantidad de viajes evitados en buses.

Además, se tiene que la velocidad promedio a la que circulan los trenes es de 160 [km/h].

Entonces, se puede obtener el tiempo promedio de recorrido de un tramo:

$$Tiempo\ prom\ recorrido\ de\ tramo = \frac{distancia\ de\ tramo}{velocidad\ promedio\ tren}$$

Se obtiene entonces el tiempo de funcionamiento de los trenes en unidades de horas:

$$Tiempo_{Totalfunc_{tren}} = n^{\circ}\ viajes\ anuales * Tiempo\ prom\ por\ viaje$$

Luego, para llegar a obtener la energía eléctrica que utilizan los trenes, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$Energía = Potencia * Tiempo$$

Con esta energía calculada, se utiliza las tablas de MAPS para calcular las emisiones indirectas del servicio de trenes. Para eso, se tiene el factor de emisión de CO2 en unidades de [ton CO2/MWh] de la generación de energía eléctrica para la matriz de Chile (anexo V).

El factor de emisión va disminuyendo a través de los años, debido al cambio de fuentes por las que se produce electricidad, que debiesen ir siendo cada vez más limpias.

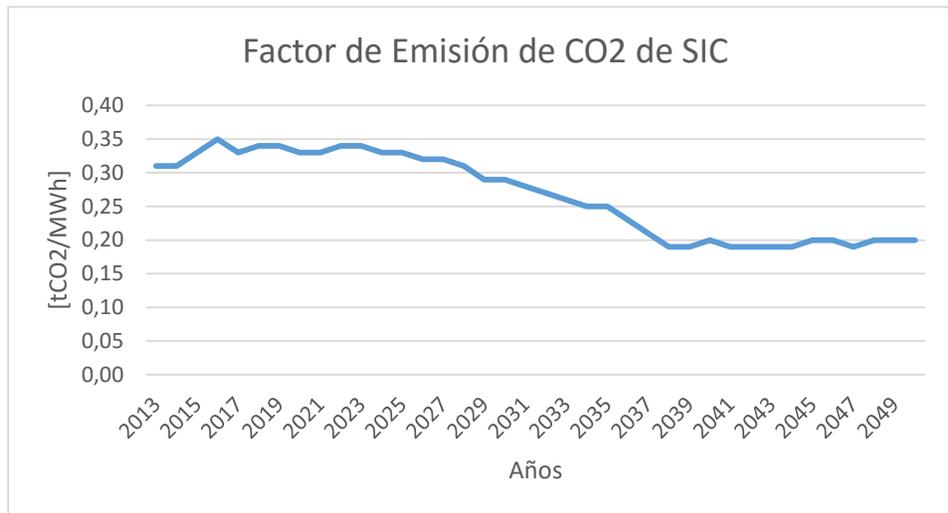


Ilustración 14: Factor de Emisión CO<sub>2</sub> SIC. Fte Centro de Energía FCFM-U. de Chile.

Con esto se obtienen las toneladas de CO2 emitidas por el proyecto:

$$Emisión\ CO2\ proyecto\ [ton] = Energía * Factor\ de\ Emisión$$

### Cálculo de Emisiones Directas de CO2 (buses)

En este caso se les llama emisiones directas a las emisiones de CO2, porque se hace referencia a las emisiones que emiten durante la operación los buses.

Para ello se calculan los litros de combustible en base a la cantidad de viajes evitados en bus, utilizando datos de demanda, eficiencia y kilómetros recorridos.

$$Viajes\_bus\_año = \frac{demanda\ anual\ pasajeros\ del\ proyecto}{pax\ promedio\ por\ bus}$$

Entonces se utiliza una eficiencia de 3,3 [km/l], una distancia de 120 [km] (Santiago-Valparaíso), y una densidad de combustible de 0,9 [gr/cc]. Y para estimar las toneladas de CO2 que se dejarían de emitir, es necesario saber el factor de emisión del diésel, que es el combustible utilizado por los buses, el que corresponde a 2,7 [kg CO2/m3] (anexo VI). Obteniéndose las emisiones directas.

**10.2.2. Resultados Cambio Climático**

Se tiene las toneladas de CO2 que producen los trenes del proyecto, y se tienen las toneladas de CO2 que dejan de producir los buses con el proyecto. Así, el beneficio por concepto de cambio climático correspondería a la suma entre el costo que generan los trenes, y el beneficio de sacar buses de circulación.

Con el precio de la tonelada de CO2 y las cantidades de CO2 calculadas anteriormente, se puede obtener el beneficio final del proyecto por ahorro de emisiones. Sin embargo, para estimar estos beneficios año a año, es necesario definir qué ocurre con el precio social de la tonelada de CO2. Para las estimaciones se ha supuesto que el precio se mantiene.

A continuación se muestran gráficamente los resultados (Ver en Anexo X, Tabla con resultados de Cálculo de Cambio Climático):

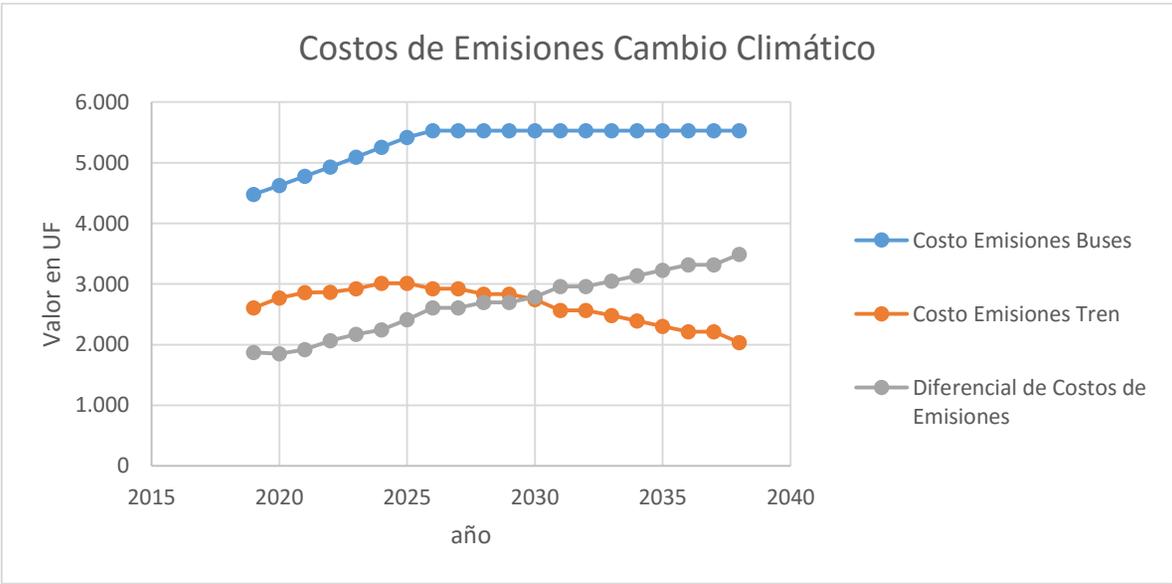


Ilustración 15: Costos de emisiones cambio climático buses y trenes.

Se puede observar que la diferencia es siempre favorable al proyecto ferroviario e incluso se incrementa con el tiempo producto de las proyecciones de una matriz energética más limpia de acuerdo a MAPS.

Donde el beneficio por ahorro de emisiones de CO2 del proyecto asciende a 30.428 UF en el periodo de 20 años de operación del proyecto. (VAN con tasa social de descuento de 6%)

Si se analiza la incidencia del VAN de cambio climático en el VAN del proyecto, se tiene:

VAN Cambio Climático [UF]	% VAN Proyecto	VAN con Cambio Climático [UF]
30.428	0,05%	60.129.728

El VAN de cambio climático es del 0,5% del VAN del proyecto, por lo que es despreciable para efectos de la evaluación social.

### **10.3. Contaminación Atmosférica**

#### **10.3.1. Procedimiento de Cálculo Contaminación Atmosférica**

Para calcular los efectos de la contaminación atmosférica que se genera o se reduce por la realización del proyecto, se divide el proceso en 2 etapas al igual que con las externalidades anteriores. Primero se calculan los efectos que produciría el tren, y luego se calcula la reducción de efectos gracias a la flota de buses que deja de circular por el proyecto ferroviario. Para ello se usará como base la metodología INFRAS, y la parte de valoración de los beneficios de externalidades de la guía metodológica del Ministerio del Medio Ambiente.

#### **Contaminación atmosférica por el modo ferroviario**

Los trenes al ser eléctricos, no generan contaminación atmosférica en el área de influencia debido a que no queman combustible, por lo que su efecto es nulo desde este punto de vista. Además se considera nulo el efecto de levantamiento de material particulado mientras opera.

## Contaminación atmosférica por el modo vial carretero

Como se apreció en la metodología, se deben seguir 4 pasos para saber los efectos a la salud debido a la contaminación atmosférica.

### i) Emisiones de Contaminantes

Se define la cantidad de contaminantes que dejarían de emitir los buses (que no circularán) debido a la realización del proyecto. Los contaminantes que se consideran son el MP2.5, NOx, SOx y HC.

El Ministerio de Medio Ambiente (MMA) entrega los factores de emisión según norma y capacidad de los buses en unidades de gr/km recorrido. Se toman valores para buses de capacidad de 42 pasajeros y que cumplan la norma Euro III (Norma más eficiente y probable cota inferior de emisiones en los próximos años).

Entonces se tiene la tabla:

Factores de Emisión - Concentración para Santiago (FEC)							
Ciudad	parámetro	FEC (ug/m3)/ton					
		PM10	PM2.5	O38H	O38H max	AOT40	O3
Santiago	PM10	0,13	-	-	-	-	-
	PM2.5	-	0,77	-	-	-	-
	NOx	-	0,61	0	0	0	0
	HC	-	0,14	0,81	1,66	42,98	0,77
	SOx	-	0,11	-	-	-	-

**Tabla 30: Factores de Emisión - Concentración para Santiago (FEC).**

En donde se destaca los valores a utilizar de acuerdo a cada tipo de contaminante, calculándose las emisiones, en el caso de este proyecto, sólo buses, dado que el tren no contamina.

ii) FEC: Concentración – Emisión

Con los datos obtenidos por el modelo de emisión, se obtiene los niveles de concentración de cada contaminante de acuerdo a las tablas FEC obtenidas en SECTRA.

iii) Concentración – Dosis respuesta

Se obtiene, a partir de las concentraciones, la incidencia en enfermedades específicas relacionadas con contaminación atmosférica, con casos de morbilidad y mortalidad. (Ver Anexos II y VI).

Categoría General de Efecto	Endpoint	Edad Mínima	Edad Máxima	Beta
MORTALIDAD CP	Mortalidad no Accidental	0	99	0,0015
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Asma	0	99	0,0025
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Enfermedad Pulmonar Crónica	0	99	0,003
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Neumonía	0	99	0,002
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Disritmia	0	99	0,0017
ERV	Asma	0	99	0,0009
Efectos Menores (Agudos)	Días Act. Restringida Menores	18	64	0,0022
Efectos Menores (Agudos)	Días de Escuela Perdidos, Relacionado con Enfermedad	9	10	0,024398

Tabla 31: Funciones de concentración respuesta de salud recomendadas para ozono. Basado en BENMAP 2010.

#### iv) Casos- valoración de enfermedades

Se valoriza el impacto total de la contaminación atmosférica sobre la salud de las personas (Método del costo de la enfermedad y Capital humano).

Para ello se cuenta con las tasas de incidencia enfermedades dadas por SECTRA. (Ver Anexo XI). Y se obtiene una estimación de morbilidad y mortalidad.

Lo que permite aplicar las tablas de valores unitarios siguientes:

Tabla Valores Unitarios (UF)				
Categoría General de Efecto	Endpoint	Edad mínima	Edad Maxima	Valor Unitario
MORTALIDAD LP	Mortalidad LP Todas las causas	30	99	3456,4
MORTALIDAD CP	Mortalidad no Accidental	0	99	3456,4
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Enfermedad Pulmonar Crónica	65	99	34,2
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Enfermedad Pulmonar Crónica	18	64	34,9
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Neumonía	65	99	37,7
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Todas Cardiovasculares (Menos Infartos al Miocardio)	65	99	53,7
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Disritmia	65	99	53,1
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Falla Congénita Cardíaca <sup>6</sup>	65	99	53,1
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Enfermedad Isquémica Cardíaca	65	99	34,9
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Asma	0	64	26,6
ERV	Asma	0	17	24,4
Síntomas	Bronquitis	8	12	0
Efectos Menores (Agudos)	Días de Actividad Restringida Menores	18	64	0
Efectos Menores (Agudos)	Work Loss Days	18	64	0,8
Efectos Menores (Agudos)	Días de Escuela Perdidos, Relacionado con Enfermedad	9	10	0,2

Tabla 32: Valores unitarios (UF).

Y finalmente se puede calcular el costo de la externalidad de Contaminación atmosférica.

### 10.3.2. Resultados Contaminación Atmosférica

En la valorización se aprecia que los beneficios por esta externalidad aumentan hasta llegar a una cota superior, producto de que el proyecto ferroviario alcanza su demanda máxima. Luego de este punto, la demanda extra ya no es capturada por el tren y utilizará medios más contaminantes (buses)

#### Método Capital Humano:

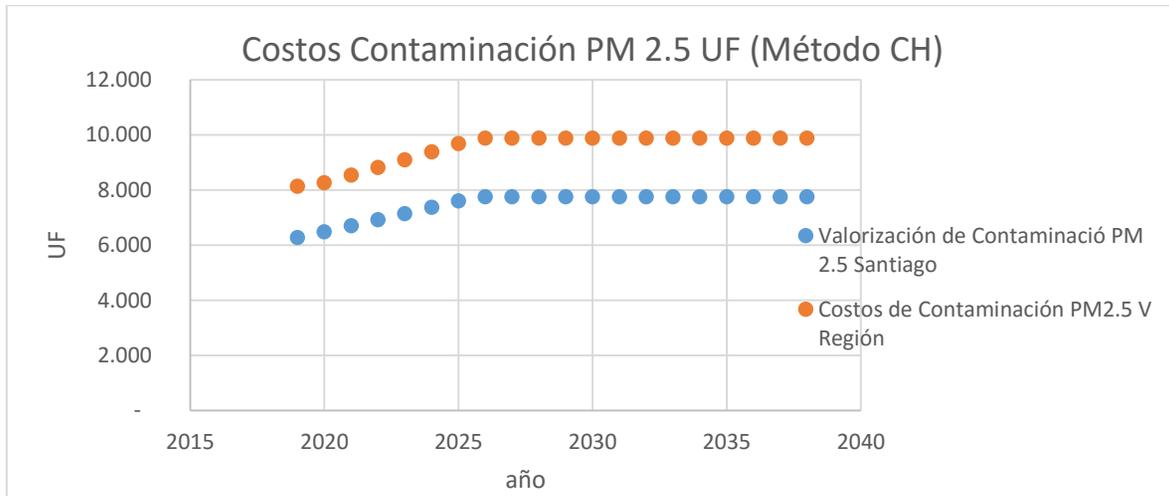


Ilustración 16: Costos de contaminación PM 2.5. Capital Humano.

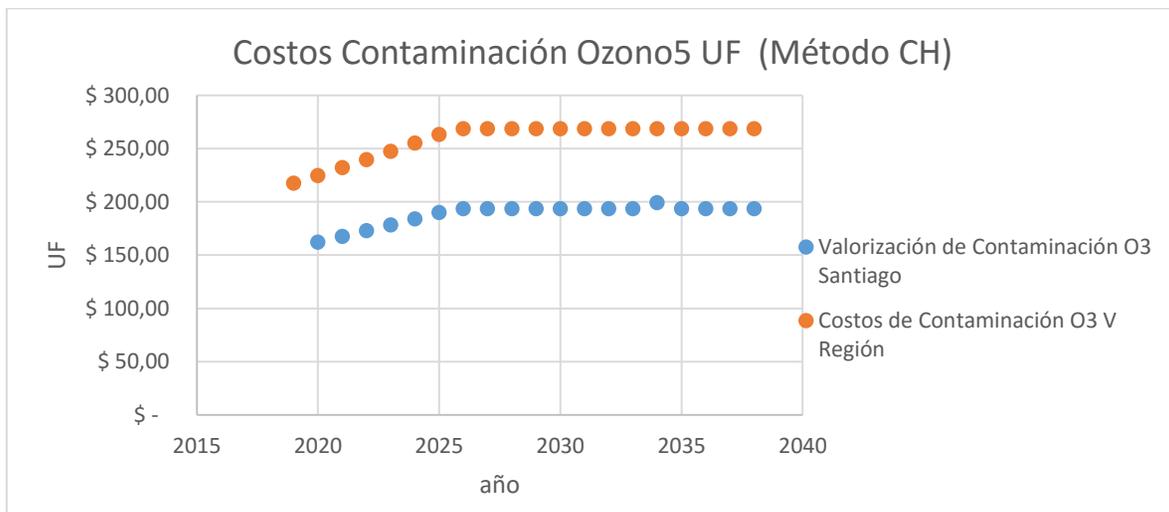


Ilustración 17: Costos Contaminación Ozono. Capital Humano.

## Método Valor Estadístico de la Vida:

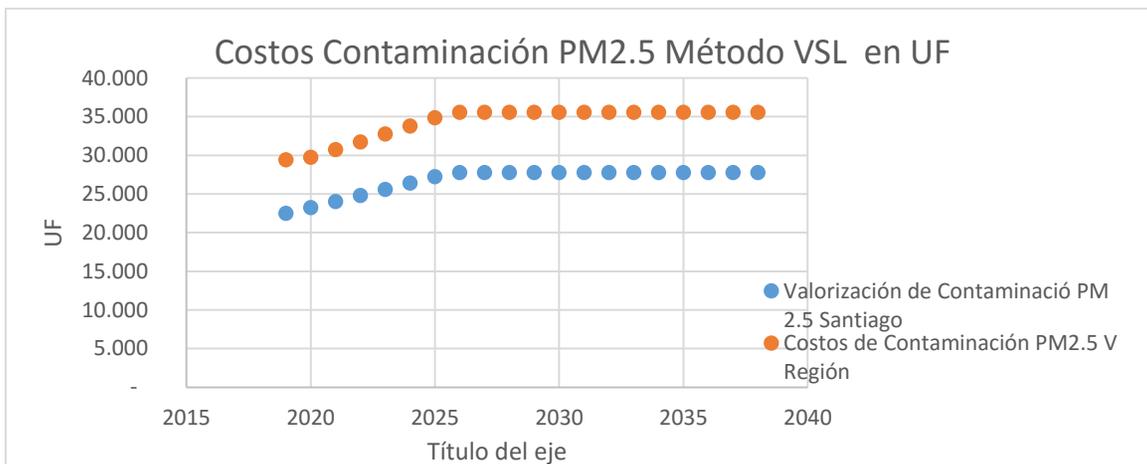


Ilustración 18: Costos Contaminación PM 2.5. VSL

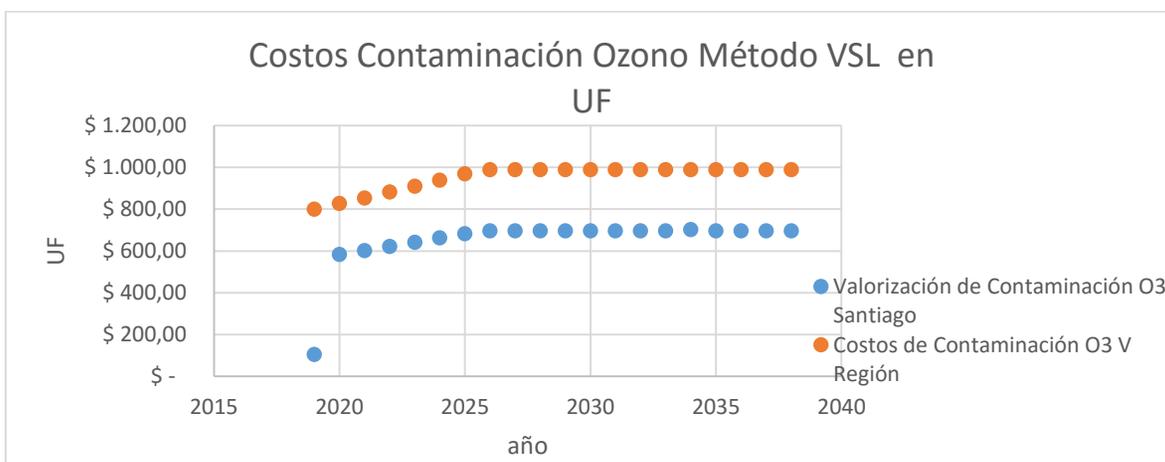


Ilustración 19: Tabla 30: Costos Contaminación Ozono. VSL

Para calcular los efectos de la externalidad de contaminación atmosférica en la evaluación social, se realiza lo mismo que en accidentabilidad, calculando la variación del VAN con esta externalidad. Los resultados sobre la rentabilidad son los siguientes:

	VAN S/P [UF]	% VAN Proyecto	VAN C/P
Cálculos con CH	207.651	0,34%	60.306.951
Cálculos con VSL	746.435	1,24%	60.845.735

De esta forma, la contaminación atmosférica, si bien no influye significativamente, es una variable a considerar. Sobre todo si se utiliza el Valor estadístico de la vida como referencia (VSL).

#### 10.4. Cuadro Resumen del Impacto de las Externalidades

Se presenta a continuación, un resumen de los resultados de las tres externalidades evaluadas:

Externalidad		$\Delta$ VAN [UF]	% VAN Proyecto	VAN FINAL con Externalidad [UF]
Accidentabilidad	Método CH	102.308	0,17%	60.201.608
	Método VSL	244.517	0,41%	60.343.817
Cambio Climático	--	30.428	0,05%	60.129.728
Contaminación Atmosférica	Método CH	207.651	0,34%	60.306.951
	Método VSL	746.435	1,24%	60.845.735

Tabla 33: Cuadro resumen de las 3 externalidades evaluadas.

Comparación del nivel de incidencia en el VAN del proyecto:

		VAN Original [UF]	$\Delta$ VAN [UF]	% VAN Proyecto	VAN FINAL con Externalidad [UF]
3 Externalidades	Método CH	60.099.300	340.387	0,57%	60.439.687
	Método VSL	60.099.300	1.021.380	1,70%	61.120.680

Tabla 34: VAN con las 3 externalidades, de acuerdo a Método capital Humano y VSL.

( A considerar: periodo de 20 años de operación del proyecto, VAN calculado con tasa social de descuento de 6%)

## 11. ANÁLISIS DE RIESGO

Se realizará un análisis de riesgo de activos, en que se busca determinar cómo la variabilidad de una variable local puede afectar un proyecto a nivel global (Riesgos locales → riesgos globales).

Para ello se utilizan las siguientes fórmulas:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 + \sum_i \sum_j cov_{i,j}$$

O bien:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 + \sum_i \sum_j \rho_{i,j} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j$$

Coefficiente correlación:

$$\rho_{i,j} = \frac{cov_{i,j}}{\sigma_i \cdot \sigma_j}$$

Donde:

$\sigma_i^2$ : varianza del VAN del proyecto provocado por la desviación estándar de la variable i

$cov_{i,j}$ : covarianza entre las variable i, j

$\rho_{i,j}$ : coeficiente de correlación entre las variables i, j

Se evalúa, entonces, qué variables tienen mayor variabilidad, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Variable	Tipo	Influencia en Rentabilidad del Proyecto	Probabilidad ocurrencia	Desviación Estándar Histórica	Datos Históricos
Crecimiento Demanda Anual	Externo	Media	Alta	+/- 8%	Datos Flujo Ruta 68, Reporte SICE
Aumento Costos de Inversión	Interno	Alta	Alta	+/- 35%	Promedio habitual para Proyectos
Aumento en los Plazos de Ejecución de la Obra	Interno	Alta	Alta	+/- 33%	Promedio habitual para Proyectos

Mejoras en Servicio de Transporte (Sustituto)	Externo	Alta	Media	+/- 10%	Se desconoce valor habitual de la variación
Cambios precio Social de la Vida	Externo	Alta	Media	+/- 342%	Valores CH (máx) y VSL (mín)
Cambios Precio Social CO2	Externo	Alta	Media	+/- 600%	MDS. Precio CO2: \$1993 (2012) y \$2.213(2015)

Tabla 35: Variables con mayor variabilidad. Fuente: Elaboración Propia.

En donde la Desviación Estándar Histórica de cada variable se calculó de la siguiente forma:

Crecimiento Demanda Anual:

Se utilizó datos del tráfico en la Ruta 68 para estimar este parámetro, bajo el supuesto que es más fidedigno que utilizar por ejemplo el crecimiento del parque automotriz, dado que la Ruta 68 es la principal conexión que existe entre Santiago y Valparaíso y se asume como representativa. Entonces de acuerdo a los datos de Concesiones (SICE) esta tasa en el periodo 2010 – 2013 es del 8% anual.

Aumento Costos de Inversión y Plazos de Ejecución de la Obra:

Se utilizará un 35% y un 33% respectivamente<sup>8</sup>

Mejoras en Servicio de Transporte (Sustituto):

Para esta variable se desconoce valor habitual de variación, se utilizará por defecto, +/- 10%

Cambios precio Social de la Vida:

Dados los valores con que ha trabajado en el presente informe, se tiene un valor por Capital Humano: 3462,69 UF y otro valor VSL de 15300 UF. Al calcular su rango porcentual resulta un 342%

Cambios Precio Social CO2:

Para esta variable, se cuenta con los valores mínimo y máximo de este valor de CO2, que en Europa corresponden a 20 y 140 euros respectivamente. Al calcular su rango porcentual resulta un 600%.

<sup>8</sup> Engel, Fischer y Galetovic, “La Economía de las Asociaciones Público Privadas”, 2014.

## Matriz de Correlaciones

Se prosigue estimando las correlaciones entre las 6 variables identificadas para crear la Matriz de Correlaciones entre dichas variables, teniéndose los siguientes valores: Alta → 0,8, MEDIA → 0,4 Y BAJA → 0,0.

La matriz de correlación queda entonces de la siguiente forma:

Variable	Crecimiento Demanda Anual	Aumento Costos de Inversión	Aumento en los Plazos de Ejecución de la Obra	Mejoras en Servicio de Transporte (Sustituto)	Cambios precio Social de la Vida	Cambios Precio Social CO2
Crecimiento Demanda Anual	1	0	0	0,4	0	0
Aumento Costos de Inversión	0	1	0,8	0	0	0
Aumento Plazos Ejecución Obras	0	0,8	1	0	0	0
Mejoras en Servicio de Tpte (Sustituto)	0,4	0	0	1	0	0
Cambios precio Social de la Vida	0	0	0	0	1	0
Cambios Precio Social CO2	0	0	0	0	0	1

Tabla 36: Matriz de correlaciones entre variables de mayor variabilidad. Fuente: Elaboración propia.

Se obtiene entonces la participación de cada variable en el riesgo global del proyecto:

Variable	Participación en riesgo global
Inversión	11%
Tasa Demanda	33%
Ejecución	23%
Bus	0%
Precio Carbono	10%
Precio Vida	22%

Tabla 37: Participación de cada variable en el riesgo global.

Resultando un riesgo global del proyecto de 6,56%. Al respecto cabe destacar que la mayor variabilidad está dada por: demanda, plazo de ejecución de las obras de inversión y cambios en la valoración de la vida. Lo cual tiene sentido en el caso de la demanda (mayor incerteza del comportamiento de esta variable) y en el caso de la valoración de la vida, está dada por la gran diferencia de valorización entre las distintas metodologías disponibles.

## 12. ANÁLISIS Y DISCUSIONES

### Análisis de Involucrados y Participación Ciudadana

Uno de los aspectos que cobra cada vez mayor relevancia en la Evaluación de proyectos, es de qué forma se considera a los actores involucrados en el Diseño, ejecución y seguimiento de los Proyectos.

Por ello es necesario identificar claramente a los actores involucrados de acuerdo al proyecto a desarrollar, que en el caso del proyecto ferroviario Santiago-Valparaíso son los siguientes [29]:

Actor	Relación
Estado, EFE	Inversionista, ejecutor, beneficiario
Pasajeros Santiago-Valparaíso e interiores	Beneficiarios directos
Empresas de Buses Santiago-Valparaíso o interiores	Competencia Directa
Empresas Consultoras y Contratistas	Ejecutores

Tabla 38: Actores involucrados y su relación con el Proyecto.

A partir de la identificación de los principales actores involucrados se determina la matriz de valorización del proyecto.

La matriz de valorización se construye de la siguiente forma:

- Escala de expectativa [-5,5]: Nivel de rechazo o aprobación del proyecto. Donde -5 representa un máximo rechazo y 5 una expectativa máxima a que se ejecute
- Escala de Fuerza [1,5]: Grado de influencia de cada actor en la decisión de ejecución. Donde 1 corresponde a la mínima influencia y 5 el máximo.

Se construye en base a estos valores, la Matriz de Valorización.

Actor	Expectativa	Fuerza	Resultante	Vinculación
Estado, EFE	5	4	20	Favorable
Pasajeros Santiago-Valparaíso e interiores	5	3	15	Favorable
Empresas de Buses Santiago-Valparaíso e interiores	-5	3	-15	Contraria
Empresas Consultoras y Contratistas	4	3	12	Favorable
Dueños de Terrenos Expropiados	-1	2	-2	Contraria
Dueños de Terrenos cercanos no Expropiados	-3	1	-3	Contraria
Comercio y Turismo en Valparaíso	3	2	6	Favorable
Carreteras concesionadas	-4	3	-12	Contraria
			21	Favorable

Tabla 39: Matriz de valorización de los principales actores involucrados.

Como resultado de la Matriz de Valorización, se puede observar que el proyecto es apoyado por los actores involucrados, a pesar de que 4 se oponen y 4 lo respaldan. La diferencia la marca la fuerza que estos actores poseen. Y en este punto viene la discusión acerca de qué hacer con quienes se oponen a la ejecución del proyecto.

La tendencia apunta a establecer condiciones para que los involucrados participen de los proyectos, proporcionando información oportuna y confiable, y que promueva la toma de mejores decisiones.<sup>9</sup>

Además el Gobierno actual ha impuesto ejes de equidad urbana y territorial, que promueven el derecho de “vivir la ciudad”, con un enfoque más participativo en que los proyectos se ajusten y respondan a la realidad de cada comuna y no sean elaborados desde el nivel central sin involucrar a la ciudadanía.<sup>10</sup>

Por ello se promueve generar instancia de participación con anticipándose a los conflictos, con una adecuada planificación, estrechando lazos con los involucrados, ya que cuando los problemas se desencadenan, se pierde más tiempo y las soluciones suelen ser más costosas.

La importancia de la participación ciudadana radica en que no se pueden construir ciudades sin las personas<sup>11</sup> "porque ellos son la ciudad. Antigualmente, la planificación era muy jerárquica y confiaba mucho en la visión de los expertos, arquitectos, ingenieros,

<sup>9</sup> <http://participacionciudadana.minsegpres.gob.cl/que-es-participacion-ciudadana>.

<sup>10</sup> <http://www.diarioconcepcion.cl/?q=content/participacion-ciudadana-debe-ser-impulsada-en-proyectos-urbanos> . Fecha consulta 25 diciembre 2015.

<sup>11</sup> Bernardo Suazo, Decano Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía, U. de Concepción, 2015

pero hoy es impensable construir la ciudad sin tener consideración a las personas que habitan los espacios".

### **Caso Proyecto "Rancagua Express"**

Al respecto, cabe mencionar lo ocurrido con el proyecto "Rancagua Express", centro de diversas críticas. Dicho proyecto de EFE fue anunciado en 2012. Su objetivo es mejorar el servicio ferroviario Santiago-Nos-Rancagua, acortando los tiempos de desplazamiento en el sector sur de Santiago.<sup>12</sup> El proyecto tendrá tres estaciones, se construirá una tercera vía entre Santiago y Nos y se desnivelarán 21 cruces vehiculares, además de los cruces peatonales, con un cierre de 170 km de faja vía. Considera aumentar la frecuencia desde 38 a 118 trenes al día.

El proyecto se encuentra en la etapa de implementación y ha generado el rechazo de los ciudadanos de las comunas que cruza el proyecto, quienes organizadamente agotan todos los recursos legales para modificar las condiciones del proyecto, teniendo como objetivo final resolver o mitigar los impactos negativos que este proyecto pueda ocasionar en su contexto inmediato. Siendo la acción pública del Estado chileno fuertemente cuestionada por su carácter centralizado y desigual en la distribución de los costos y beneficios de inversiones urbanas. EFE desarrolló un proyecto de gran escala sin involucrar de manera directa en el proceso de formulación, desarrollo e implementación a los habitantes del entorno inmediato.

De esta manera surgen movimientos ciudadanos en reacción al proyecto, con movilizaciones masivas ("Frente Amplio de Defensa Ciudadana Lo Espejo", "Movimiento de Acción Ciudadana por San Bernardo") que quieren detener el actual proyecto y plantear uno nuevo. Los vecinos exigen que se cumpla la ley (Asociaciones y Participación Ciudadana en la Gestión Pública N° 20.500, en su artículo 73 y 74) y se les integre a una mesa de trabajo con EFE.<sup>13</sup>

Al proyecto se le critica: dejar escasos metros hasta las viviendas de comunas vulnerables, que el entorno urbano no está modelado según la realidad, confinamiento total de la vía por muros generaría segregación, pérdida de visibilidad y delincuencia,

---

<sup>12</sup> <http://revistaplano.uc.cl/2013/10/01/derecho-a-la-participacion-ciudadana-en-la-construccion-de-la-ciudad-el-caso-del-proyecto-ferroviario-rancagua-express-3/> Fecha consulta: 25 diciembre 2015

<sup>13</sup> <http://acuerdos.cl/noticias/rancagua-express-y-el-rechazo-ciudadano/> Fecha Consulta: 25/12/ 2015

daño paisajístico y patrimonial e inconvenientes de traslado peatonal de los habitantes. Se han presentado recursos en la Superintendencia del Medio Ambiente (Estudio de Impacto Ambiental) y recursos de protección presentados en tribunales de justicia.(FIMA: Fiscalía del Medio Ambiente).



Ilustración 20: Protesta en contra del Proyecto “Rancagua Express”<sup>14</sup>.

Como consecuencia, se generan retrasos en la ejecución de las obras y por consiguiente en la puesta en marcha del proyecto, afectando directamente los flujos proyectados para el proyecto. Además de desinformación, desconfianza, pérdida de credibilidad en la empresa, autoridades y costos adicionales por nuevas obras compensatorias y retraso en las obras.

Por ello que considerar a los actores involucrados puede evitar los altos costos producto de inefectiva planificación y diseño de proyectos, que finalmente pueden generar mayores perjuicios que los costos de haber coordinado adecuadamente en etapas de diseño y ejecución de los proyectos.

### **Alcances de los resultados de accidentabilidad:**

Existen algunos alcances que mencionar respecto a los costos sociales asociados a accidentabilidad: la situación de alta tasa de accidentabilidad registrada en Chile respecto a países de la OCDE y las medidas de mejora que en particular se proyectan para la Ruta 68.

Estas medidas, de implementarse, podrían afectar los cálculos actuales de tasas de accidentes y por lo tanto, modificar las estimaciones de la externalidad

---

<sup>14</sup> <http://www.adnradio.cl/noticias/nacional/alcaldesa-de-pac-acuso-segregacion-social-y-discriminacion-en-trazado-de-rancagua-express/20130104/nota/1867863.aspx>

“Accidentabilidad” a futuro. Sobre todo si se reduce la brecha entre lo que sucede en Chile y las recomendaciones propuestas por la OMS, que implica impulsar políticas públicas en esa línea.

### Informe de la OMS sobre la Situación de la Seguridad Vial 2015 [30]

De acuerdo al último informe entregado (2015), Chile posee la tasa de accidentabilidad con resultado de muerte más alta de todos los países de la OCDE. En efecto la tasa chilena es cinco veces mayor que la de Suecia, con 12,4 fallecidos/100.000habs y 2,8 muertes/100.000 habs respectivamente. Respecto a ciclistas y peatones Chile nuevamente está en la peor ubicación entre los países en estudio.

Esto se explica por múltiples factores relacionados con el comportamiento de los usuarios de las vías de transporte, teniendo una fuerte componente cultural (uso inadecuado de teléfonos en trayecto, incumplimiento de normas del tránsito, entre otras).

En septiembre de 2015, la Asamblea General de la ONU adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en que una de sus metas es reducir a la mitad el número mundial de muertes y traumatismos por accidente de tránsito de aquí a 2020.

En la siguiente figura se muestra que los accidentes de tránsito son la principal causa de muerte entre personas de edades entre los 15 y los 29 años.

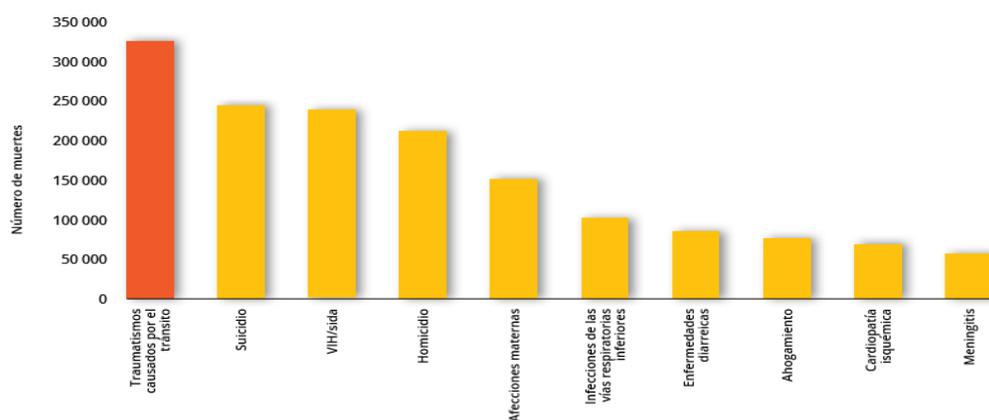


Ilustración 21: Las 10 causas principales de muerte en personas de 15 a 29 años [30].

Es por ello que en los últimos tres años, 17 países, que representan una población de 409 millones de personas, han modificado las leyes relativas a los principales factores de riesgo de traumatismo por accidente de tránsito, a fin de que estén en consonancia

con las mejores prácticas, tales como: reducir la conducción bajo los efectos del alcohol, mejorar el uso y la calidad de los cascos de motocicleta, aumento del uso del cinturón de seguridad, mejorar los sistemas de retención infantil en vehículos y aplicación de las normas mínimas de seguridad de la ONU para vehículos nuevos.

### **Mejoras Proyectadas en Ruta 68: [29]**

La Ruta 68, principal conexión entre la Región Metropolitana y la Región de Valparaíso, permite un fácil acceso al puerto de Valparaíso, Viña del Mar, Quilpué y otras ciudades interiores. Su diseño incluye elementos de seguridad de alto estándar dados por concesiones.

La capacidad de la vía es del orden de 2 mil 800 vehículos/hora y aproximadamente el 70% de la autopista se puede circular a 120 km/hr. El crecimiento del tráfico promedia un 5,8% anual entre 2007 y 2012.<sup>15</sup>

En carpeta de las autoridades políticas y técnicas está el plan maestro para los años 2012-2024, éste implica la construcción de un tercer carril en el tramo de 12km que conecta Av. Américo Vespucio en Santiago con la plaza de peaje Lo Prado, un tercer túnel en Lo Prado y mejoras en accesos a Valparaíso, entre otras mejoras.

Existen 2 variantes para concretar el Plan Maestro: renegociar el contrato con la actual concesionaria o esperar el fin del plazo y llamar a una nueva licitación.

Actualmente, el promedio de accidentes por cada 100.000 transacciones (pasos de vehículos) por la Ruta 68 llega a 2,33 accidentes/100.000 vehículos, promedio años 2010 al 2013. [33].

---

<sup>15</sup> Fuente: Autopistas del Pacífico

### **13. CONCLUSIONES GENERALES**

Los proyectos de ferrocarriles se pueden considerar como proyectos a gran escala que se caracterizan por un diseño y organización compleja, que obliga a mejorar las bases de diseño y gestión de los proyectos.

Para ello es imprescindible la aplicación de métodos de trabajo correctos. Esto es particularmente importante cuando se calcula costos de externalidades, que de acuerdo al trabajo realizado, está llenos de posibles aristas y supuestos que pueden generar grandes cambios en los resultados finales.

Por lo mismo, se necesita un trabajo previo fuerte en investigación y análisis para evaluar claramente cada una de las diferentes variables que componen un proyecto y que pueden ser críticas en los cálculos de rentabilidad, con claras pautas de trabajo accesibles a una gama amplia de profesionales y a diferentes tipos de proyectos. Además es buena práctica estandarizar los métodos y prácticas de trabajo para crear evaluaciones consistentes y comparables.

En cuanto a los datos disponibles, en el cálculo de externalidades confluyen distintos actores pertenecientes a instituciones públicas como el Ministerio de salud, del Medio Ambiente, Carabineros, registrándose datos valiosos que ameritan generar instancias de coordinación y de verificación que permitan llegar a estimaciones más confiables y válidas.

En este trabajo se consideró 3 externalidades: accidentabilidad, cambio climático y contaminación atmosférica, por motivos de tiempo de preparación y porque son las 3 externalidades que suponían mayor valoración a priori. Pero existen otras externalidades que pueden ser objeto de estudio, en particular ruido y segregación, no abordadas en este informe.

Se concluye que si bien estimar estas externalidades es importante para establecer un VAN social más ajustado a la realidad, no necesariamente resultan determinantes en la rentabilidad de un proyecto, incluso podrían disminuir su rentabilidad dependiendo de los supuestos utilizados. En los resultados se obtuvo una variación máxima de 1,24% del VAN respecto a la externalidad Contaminación atmosférica, mientras que para accidentabilidad la variación  $\Delta$ VAN fue de 0,17% y 0,41% dependiendo de si se aplica la metodología de Capital Humano o VSL respectivamente. Para Cambio Climático el cambio  $\Delta$ VAN fue de sólo 0,05%.

A nivel global del proyecto, teniendo en cuenta las 3 externalidades, la variación  $\Delta$ VAN fue de 0,57% y 1,70% dependiendo de si se aplica la metodología de Capital humano o VSL. Lo cual es menor a lo esperado dadas las premisas previas al desarrollo de este trabajo.

Se presume entonces, que la aplicación de cálculo de externalidades en un proyecto cobraría mayor importancia en evaluaciones de proyectos que estén más al límite de obtener un VAN positivo, más que en proyectos cuyo VAN definitivamente sea muy negativo y el proyecto no sea viable.

Por lo tanto, la accidentabilidad y cambio climático, bajo los datos y supuestos utilizados en este análisis, no influirían de manera significativa en la rentabilidad del proyecto como se esperaba de acuerdo a los resultados de INFRAS, mientras que la contaminación atmosférica, sería una variable a considerar dado sus resultados y procesos de cálculo más complejos. (Más aún si se utiliza el método VSL como referencia).

Para el análisis de riesgo, se determinó un riesgo global para el proyecto de 6,56%, siendo las variables demanda, plazos de ejecución, inversión y valor de costo de la vida las más determinantes. Al respecto se destaca la utilización de datos más realistas de variabilidad (en la medida de que disponga de dichos datos) y no simplemente utilizar variaciones estándar de  $\pm 10\%$ .

Algunos alcances acerca de cada externalidad.

### **Accidentabilidad**

Respecto a la accidentabilidad, hay varias hipótesis que pueden justificar los resultados obtenidos, en que puede resultar contra intuitivo que de un resultado final tan bajo. Una posible justificación es que en Chile la seguridad de buses es relativamente alta y con normas estrictas de seguridad, actualmente no es usual ver un accidente en el cual esté involucrado un bus.

Por otra parte la mayor cantidad de accidentes los protagonizan automóviles (90% aprox.), lo cual sugiere que el foco de las autoridades debiese estar en crear medidas y servicios de transporte que de verdad sean una opción para el automovilista. Se generaría entonces otro beneficio de menor congestión, el cual tal como se estudió en las metodologías, está muy ligado a la tasa de accidentabilidad de una vía, el incremento marginal de la probabilidad de sufrir un accidente aumenta con la adición de un vehículo más la vía.

Cabe decir también que la accidentabilidad ferroviaria depende en gran medida de las condiciones de diseño de las vías, siendo la inversión en infraestructura de seguridad gravitante en las tasas de accidentabilidad, sobretodo si un tramo pasa por sectores de mayor densidad poblacional. También depende de la idiosincrasia de las personas y el respeto por las normas de seguridad (usar pasos autorizados por ejemplo). Existe por cierto, una crítica acerca de cómo están diseñados los proyectos, en particular los diseños de cruces peatonales y la segregación espacial que generan, que puede influir en el comportamiento de los usuarios y en la ocurrencia de accidentes de tránsito.

Otro punto que conviene revisar es el procedimiento por el cual se recaba información de accidentes, en ocasiones los datos no son suficientes ni con el detalle requerido. Esto es determinante al momento de establecer los costos por esta externalidad, así como la precisión de los costos sociales por tipo de accidente y lesionado. Por esto las actualizaciones de datos son imprescindibles para afinar las estimaciones de accidentabilidad.

La frecuencia es otro factor a considerar y debe estar estrechamente ligada a las condiciones de seguridad de la vía férrea.

### **Cambio Climático**

Corresponde a la externalidad con menos incertidumbre en el desarrollo de cálculos, el único factor que puede cambiar los resultados de manera determinante es el precio de la Ton CO<sub>2</sub>, más aún después de la firma del acuerdo de Paris COP21, que implicaría un alza en estos precios. Por lo demás en Chile el precio social del CO<sub>2</sub> es bastante bajo en relación a países de Europa y muy probablemente se eleve en los próximos años.

Por lo que se espera que Cambio climático adquiera cada vez mayor importancia en la evaluación de proyectos de proyectos que involucren emisiones de carbono, sin embargo, por el momento su valor sigue bajo en Chile.

### **Contaminación Atmosférica**

Es la externalidad con mayores complejidades de cálculo, básicamente por la cantidad de pasos a seguir y la incerteza que genera utilizar tantas tablas de datos estimados.

Por ejemplo al calcular las emisiones, ya se agrega un nivel de incertidumbre en las aproximaciones a normas de emisión que supuestamente cumplen los vehículos (Euro I, Euro II o Euro III: ¿Qué porcentaje de flota es cada uno?). Además se suponen combustibles estandarizados que se usan en condiciones diversas de temperatura y aceleraciones, lo cual incide en las emisiones de contaminantes.

Se prosigue con tablas de factores de emisión – concentración extraídas del modelo MAPS, como una simplificación de cálculos, Nuevamente se agrega gran incerteza en los cálculos al utilizar valores promedio de concentraciones, cuando la evidencia empírica indica que los movimientos de contaminante dependen fuertemente de condiciones ambientales diversas como época del año, temperatura y velocidad del aire, por citar algunos.

Una vez que se tiene las concentraciones se asume su incidencia en la morbilidad y mortalidad relacionada con causas de contaminación atmosférica. Acá nuevamente se

tiene la incerteza de qué tan ajustados están los cálculos de relación directa con enfermedades y la rigurosidad con que se realizaron. Hay factores de optimización de recursos servicios de salud y cambios en las condiciones de vida de la población que sugieren una continua revisión y actualización de estos factores, así como revisiones periódicas de Tablas de valorización de enfermedades y la metodología de cálculo del Ministerio de salud. Entonces al ser esta externalidad con resultados de cálculo más variable, representa la externalidad de mayor riesgo (o con menor credibilidad).

Otro aspecto a considerar y que es muy relevante, es la forma en que se integran los diferentes proyectos de EFE, en vez de verlo como proyectos integrados, se evalúan casi como si no existiesen los demás proyectos en curso. Por ejemplo no se discute a priori la optimización de espacio físico limitado para implementar nuevas vías y operaciones. Los proyectos pueden ser complementarios y evaluarse de acuerdo al orden de ejecución de las obras. El problema radica en la incerteza que existe de los plazos y montos de inversión de los proyectos de EFE y por consiguiente no se evalúan los distintos proyectos coordinados según su puesta en marcha.

También se hace imprescindible desarrollar correctamente cada etapa de diseño y planificación de los proyectos, incluida una rigurosa ingeniería de detalle que evite imprevistos que pudieran no serlo.

Como conclusión final, el estudio de las externalidades es un caso abierto, aún en desarrollo y que por cierto merece ser estudiado y abordado con rigurosidad en la evaluación de proyectos.

## 14. GLOSARIO

MDS: Ministerio desarrollo Social

EFE: Empresa de Ferrocarriles del Estado

INFRAS: External Costs of Transport in Europe

MDS: Ministerio de Desarrollo Social

VAN: Valor Actual Neto

TIR: Tasa Interna de Retorno

CLP: Peso chileno

USD: Dólar EE.UU.

UF: Unidad de Fomento

INE: Instituto nacional de Estadísticas

CASEN: Caracterización Socioeconómica Nacional

SII: Servicio de Impuestos Internos

MINSAL: Ministerio de Salud

OMS: Organización Mundial de la Salud

CONASET: Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito

VSL: Valor Estadístico de la Vida

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo

SINC: Sistema Interconectado Central

SING: Sistema Interconectado del Norte Grande

AGIES: Análisis General de Impacto Económico y Social para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire

## 15. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Evaluación social de inversiones públicas: enfoques alternativos y su aplicabilidad para Latinoamérica. Eduardo Contreras, CEPAL, 2004.
- [2] INFRAS, Costes externos del Transporte. 2004
- [3] Precios sociales para la Evaluación Social de proyectos, Ministerio de Planificación, Gobierno de Chile, 2011.
- [4] Estudio de Evaluación Social Servicio de Tprte de Carga, Consultora CITRA Ltda, 2012
- [5] Futuro del desarrollo ferroviario, Directorio EFE, 2009
- [6] Programa de Vialidad y Transporte Urbano, SECTRA, MIDEPLAN, 2010
- [7] Tarifación Óptima de externalidades de accidentes, Alcoholado G., 2006
- [8] Requisitos de Información para Proyectos, MDS, 2010
- [9] Metodología para Evaluación Socioeconómica para Transporte Ferroviario, SECTRA–MDS, 2013
- [10] Luis Ignacio Rizzi, Costos Externos del Transporte Automotor Vial en la RM de Santiago. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2008.
- [11] Empresa de Ferrocarriles del Estado, El futuro del sistema ferroviario: Documento de Posición del Directorio de EFE. Chile, 2009
- [12] Gonzalo Alcoholado, Estimación de los costos externos de los accidentes de tránsito en Chile. Santiago de Chile. 2007.
- [13] Ministerio del Medio Ambiente, Guía metodológica para la elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire. 2014.
- [14] Luis Rizzi, Guía metodológica para la elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire. 2014.
- [15] CONAMA, análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para artefactos de uso residencial que combustionan con leña y otros combustibles de biomasa, 2007.

- [16] José Barbero y Rodrigo Rodríguez, Transporte y cambio climático: hacia un desarrollo sostenible y de bajo carbono. Buenos Aires, Argentina. 2012.
- [17] Marta Bellera y Marta Sánchez, Trascendencia de las externalidades ambientales en la valoración socioeconómica de proyectos de alta velocidad ferroviaria. Barcelona, España. 2013.
- [18] PNUD y MAPS Chile, Proyección Escenario Línea Base 2013 y Escenarios de Mitigación del Sector Transporte y Urbanismo. Chile. 2014.
- [19] Metodología simplificada de estimación de beneficios sociales por disminución de accidentes en proyectos de vialidad interurbana. MIDEPLAN 2011.
- [20] Talgo. Referencias técnicas.
- [21] Tecnología, Estado y Ferrocarriles en Chile, 1850 – 1950, Guillermo Guajardo.
- [22] INE: [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/familias/demograficas\\_vitales.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php)
- [23] Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Plan Maestro de Transporte 2025 Santiago. Chile, 2012.
- [24] Departamento de Transporte del Reino Unido. Evaluación de Impacto Ambiental, TAG UNIT A3. Reino Unido. 2014
- [25] Metodología Simplificada de Estimación de Beneficios Sociales por Disminución de Accidentes en Proyectos de Vialidad Interurbana, Ministerio de Planificación, Mayo, 2011
- [26] Estimación Estadística de La Vida por Capital Humano.pdf, División Planificación, Estudios e Inversión del Ministerio de Desarrollo Social. 2011
- [27] "The Value of a Statistical Life", Henrik Andersson Toulouse School of Economics (UT1, CNRS, LERNA), France Nicolas Treich Toulouse School of Economics (INRA, LERNA), France.
- [28] Metro de Valparaíso S.A. Memoria Anual 2014. Chile. 2014
- [29] Astudillo, Balbontín, Gutiérrez, Kauak, Lastra. "Construcción Red Ferroviaria De Carga Entre Santiago Y Valparaíso", 2015
- [30] OMS - OCDE. "Informe sobre la Situación de la Seguridad Vial 2015", 2015.
- [31] Heyermann, Proboste, Steidle, Zenteno. Proyecto Ferroviario: Santiago – Quinta Región, 2012

[32] Anuario de Carabineros. Consolidado 2014

[33] Concesión Interconexión Vial Santiago-Valparaíso-Viña Del Mar, MOP. 2013

## **16. ANEXOS**

### **16.1. Tipos de Proyectos Ferroviarios**

A continuación se presenta la clasificación de los proyectos ferroviarios desde el punto de vista metodológico de la modelación y evaluación del proyecto. Esta clasificación depende de su impacto sobre el sistema de transportes y sobre el sistema de actividades en su área de influencia. Las siguientes definiciones de cada proyecto son textuales de la metodología del MDS.

#### **Proyecto Tipo I**

Corresponde a una situación en que se espera que los flujos en cada arco de la red ferroviaria (número de pasajeros, toneladas de carga) no cambien como consecuencia del proyecto, lo cual en otras metodologías sería definido como proyectos de impacto o ámbito local. Esto no significa que los flujos permanecen constantes en el tiempo, sino que su evolución futura en el modo será la misma tanto si el proyecto de ejecuta como si no se realiza.

En términos generales, se tratará de proyectos que afectan sólo a algún tramo específico de la red, como puede ser un mejoramiento geométrico puntual. También puede darse cuando se analizan cambios en el material rodante, como utilizar trenes más largos o de mayor capacidad, que afecten el tráfico de trenes, pero no la demanda, en especial en el caso de la carga.

En general, este tipo de proyectos será normalmente asociado al transporte de carga, pues la demanda es menos elástica a cambios menores en las variables de servicio que en el caso de pasajeros. En proyectos de pasajeros, podría darse en el caso del cambio de material rodante a uno más moderno y de menores costos de operación, pero que sobre la misma infraestructura no mejora sus variables de servicio, por lo que no genera impactos en la demanda, salvo, por ejemplo, que los menores costos impliquen una menor tarifa o que el nuevo equipo posea mejores acomodaciones, en cuyo caso el proyecto podría pasar a ser de tipo II o III, según los impactos que se estime se producirán, lo cual debe ser decidido por el analista.

#### **Proyecto Tipo II**

Corresponde a una situación en que el impacto sobre la demanda se produce a nivel de la partición modal. Es decir, la ejecución del proyecto genera una transferencia de demanda hacia el modo ferroviario que en la situación base era transportada por otro modo (auto, bus, camión, avión, según sea el caso). El mayor atractivo del modo ferroviario se produce cuando el proyecto modifica sus variables de servicio (tiempo de viaje, tarifa, comodidad, frecuencia, confiabilidad, seguridad, etc.). Algunas de estas variables también pueden ser modificadas frente a cambios en la red ferroviaria. Por

ejemplo, una nueva conexión que genere cambios en la asignación a la red hacia rutas de menor costo y/o de menor tiempo de viaje. También se produce cuando mejoramientos en la vía permiten el desarrollo de mayores velocidades y, por ende, menores tiempos de viaje.

En el caso de pasajeros, los cambios en la partición modal se van a producir siempre que se implemente un nuevo servicio o se mejoren las variables de servicio de un servicio existente. En el caso de la carga, se tratará de proyectos nuevos que buscan captar una carga existente que se transporta en camión (u otro modo) o asociados a nuevos proyectos productivos en donde el ferrocarril compite para ser el modo de transporte de los nuevos volúmenes de carga. En el caso de mejoramientos en la vía no asociados a nuevas cargas específicas e identificadas para el ferrocarril, este manual sugiere no considerar la posibilidad de captar alguna proporción de cargas viales existentes y tratarlos como proyecto Tipo I, es decir, las inversiones deben justificarse a partir de los beneficios asociados a las cargas ya transportadas por el ferrocarril y su crecimiento en el horizonte del proyecto.

Por otra parte, la transferencia de demanda de la red vial al ferrocarril, si es cuantiosa, puede generar impactos en la asignación de la red vial interurbana. Sin embargo, esto normalmente es poco significativo pues las carreteras suelen operar con bajos niveles de congestión, por lo que la derivación de parte de su demanda a otro modo, no suele generar impactos importantes en los costos de operación viales interurbanos. Sin perjuicio de lo anterior, se debe también tener en cuenta que un proyecto ferroviario interurbano podría tener impactos relevantes sobre la congestión en zonas urbanas, como podría ser el caso de accesos a puertos. En todo caso, debe ser el analista el que decida si existen o no impactos relevantes en la red vial.

### **Proyectos Tipo III**

Este constituye el caso más general, en donde se esperan cambios tanto en la partición modal como en las etapas de generación-atracción (incluyendo demanda inducida debido al proyecto) y distribución de los viajes. En cuanto a la asignación en la red ferroviaria, esto dependerá de si el proyecto induce cambios de ruta o incorpora nuevas conexiones ferroviarias.

En general, este tipo de proyectos se podría dar principalmente en el caso de pasajeros, que es donde cambios muy significativos de costo o tarifa en la conexión de ciertos pares origen destino podrían generar demanda adicional (inducida) o incluso cambios en la distribución de los viajes.

En el caso de la carga se estima que este caso es difícil que se de en la práctica, pero un ejemplo podría ser el caso de una carga de exportación (por ejemplo algún mineral). Si su transporte es por modo caminero, podría ser embarcado por distintos

puertos de la región, pero si se lleva en ferrocarril su embarque sea sólo por uno de dichos puertos (el que disponga de acceso ferroviario).

En cuanto a cambios en la asignación de viajes en la red vial, al igual que en el caso anterior, el analista deberá decidir si se producen impactos relevantes. Esto último, está directamente asociado a los niveles de congestión actuales y futuros de las vías competitivas a los servicios ferroviarios. Es importante tener en cuenta que proyectos ferroviarios mayores, con alta captación de demanda, podrían influir en el aplazamiento de inversiones en infraestructura vial (ampliaciones), en cuyo caso, debiera considerarse el análisis de asignación en la red vial.

## 16.2. Demanda Proyectada Servicio de Pasajeros Santiago-Valparaíso

año	Demanda Proyectada
2019	15.148.214
2020	15.650.207
2021	16.163.900
2022	16.689.533
2023	17.227.357
2024	17.777.628
2025	18.340.616
2026	18.702.600
2027	18.702.600
2028	18.702.600
2029	18.702.600
2030	18.702.600
2031	18.702.600
2032	18.702.600
2033	18.702.600
2034	18.702.600
2035	18.702.600
2036	18.702.600
2037	18.702.600
2038	18.702.600
2039	18.702.600

### 16.3. Tabla Dosis - Respuesta

Concentración Respuesta de Salud										
Contaminantes relevantes para esta externalidad: MP2.5 y Ozono										
Funciones de tipo log-lineal								MP2.5		
Categoría General de Efecto	Endpoint	Autor	Año	Edad Mínima	Edad Máxima	Resolución Temporal	Beta	Beta SIGMA BETA	Forma Funcional	Incremento por 10ug/M <sup>3</sup>
MORTALIDAD LP	Mortalidad LP Todas las causas	Pooled	2009	30	99	Promedio Anual	0,0094	0,00095	Log-Lineal	0,098
MORTALIDAD CP	Mortalidad no Accidental	Pooled	2009	0	99	Promedio Diario	0,0013	0,00005	Log-Lineal	0,013
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Enfermedad Pulmonar Crónica	Pooled	2009	65	99	Promedio Diario	0,0011	0,0002	Log-Lineal	0,011
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Enfermedad Pulmonar Crónica	Pooled	2009	18	64	Promedio Diario	0,0021	0,00041	Log-Lineal	0,021
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Neumonía	Pooled	2009	65	99	Promedio Diario	0,0042	0,00089	Log-Lineal	0,043
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Todas Cardiovasculares (Menos Infartos al Miocardio)	Pooled	2009	65	99	Promedio Diario	0,001	0,00019	Log-Lineal	0,01
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Disritmia	Pooled	2009	65	99	Promedio Diario	0,0017	0,00113	Log-Lineal	0,017
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Falla Congénita Cardíaca <sup>6</sup>	Pooled	2009	65	99	Promedio Diario	0,0038	0,00072	Log-Lineal	0,038
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Enfermedad Isquémica Cardíaca	Pooled	2009	65	99	Promedio Diario	0,0013	0,00062	Log-Lineal	0,013
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Asma	Sheppard	2003	0	64	Promedio Diario	0,0039	0,001235	Log-Lineal	0,0401
ERV	Asma	Norris et al	1999	0	17	Promedio Diario	0,0165	0,00349	Log-Lineal	0,18
Síntomas	Bronquitis	Dockery et al.	1999	8	12	Promedio Anual	0,0379	0,023806	Log-Lineal	0,4607
Efectos Menores (Agudos)	Días de Actividad Restringida Menores	Ostro y Rothschild	1989	18	64	Promedio Diario	0,0074	0,0007	Log-Lineal	0,077
Efectos Menores (Agudos)	Work Loss Days	Ostro	1987	18	64	Promedio Diario	0,0046	0,00036	Log-Lineal	0,047
Efectos Menores (Agudos)	Work Loss Days	Ostro	1987	18	64	Promedio Diario	0,0046	0,00036	Log-Lineal	0,047
Efectos Menores (Agudos)	Días de Escuela Perdidos, Relacionado con Enfermedad	Gilliland et al.	2001	9	10	Promedio Diario	0,0055	0,00939	Log-Lineal	0,057

Fuente: Elaboración propia utilizando antecedentes de BENMAP (2010) (4).										
TABLA 3.2: Funciones de Concentración Respuesta se Salud recomendadas para material particulado.										

#### 16.4. Participación de Vehículos en Accidentes

La participación de los vehículos en accidentes se obtiene a partir de información pública de Carabineros de Chile [32].

Tipo de Vehículo	Parque Automotor		Participación Accidentes		Vehículos Dañados
	Absoluto	Relativo %	Absoluto	Relativo %	
BUS/TAXIBUS	48.108	1,13	9.320	6,74	5.830
MINIBUS	43.750	1,03	1.488	1,08	1.173
AUTOMOVIL	2.588.061	60,71	77.688	56,19	65.860
CAMIONETA	747.371	17,53	19.584	14,17	15.741
JEEP	97.897	2,3	2.911	2,11	2.380
FURGON	183.488	4,3	5.164	3,74	4.216
CAMION SIMPLE	140.347	3,29	6.096	4,41	4.117
TRACTO-CAMION	40.958	0,96	727	0,53	983
REMOLQUE/SEMI-REM.	67.820	1,59	107	0,08	68
MOTOCICLETA	148.455	3,48	6.187	4,48	5.437
TRACTOR AGRICOLA	8.332	0,2	111	0,08	68
OTROS NO CLASIFICADOS	148.497	3,48	8.869	6,42	5.488

Si se consideran las categorías de Bus/Taxibus como buses, entonces la participación relativa de los buses en los accidentes es de 6,74%.

## 16.5. Proyección de la Generación Eléctrica en Chile al 2050, MAPS

Año	SIC	SING	Nacional
2013	0,31	1,03	0,50
2014	0,31	0,98	0,48
2015	0,33	0,97	0,49
2016	0,35	1,04	0,53
2017	0,33	0,94	0,50
2018	0,34	0,92	0,50
2019	0,34	0,91	0,50
2020	0,33	0,90	0,49
2021	0,33	0,88	0,48
2022	0,34	0,87	0,49
2023	0,34	0,86	0,48
2024	0,33	0,84	0,48
2025	0,33	0,83	0,47
2026	0,32	0,82	0,45
2027	0,32	0,81	0,45
2028	0,31	0,79	0,43
2029	0,29	0,77	0,41
2030	0,29	0,74	0,41
2031	0,28	0,72	0,39
2032	0,27	0,70	0,37
2033	0,26	0,68	0,36
2034	0,25	0,65	0,34
2035	0,25	0,63	0,34
2036	0,23	0,61	0,32
2037	0,21	0,57	0,29
2038	0,19	0,54	0,27
2039	0,19	0,54	0,27
2040	0,20	0,54	0,28
2041	0,19	0,52	0,27
2042	0,19	0,51	0,27

2043	0,19	0,51	0,27
2044	0,19	0,49	0,26
2045	0,20	0,51	0,27
2046	0,20	0,50	0,28
2047	0,19	0,47	0,26
2048	0,20	0,44	0,26
2049	0,20	0,42	0,25
2050	0,20	0,38	0,24

### 16.6. Factores de Emisión para Combustibles Utilizados en Chile

Combustible		kg CO2/TJ	kg CO2/m3	kg CO2/ton	PCI	Densidad kg/m3
					kcal/kg	
Gasolina para vehículos		69.3	2.241	3.07	10.583	730
Kerosene de aviación		71.5	2.554	3.153	10.536	810
Diesel		74.1	2.676	3.186	10.273	840
Petróleo combustible	Petróleo combustible N°5	77.4	2.899	3.127	9.652	927
	Petróleo combustible N°6	77.4	2.955	3.127	9.652	945
	Petróleo combustible IFO 180	77.4	2.927	3.127	9.652	936
Gas licuados de petróleo		63.1	1.642	2.985	11.3	550
Gas natural		56.1	1,97	-	8.407	-
Carbón bituminoso		94.6	-	2.441	6.164	-
Carbón sub- bituminoso		96.1	-	1.816	4.515	-
Fuente: Ministerio de Energía						

## 16.7. Tabla de Estudios del Valor Estadístico de la Vida

		Year of data		No. estimates	Range of VSL estimates		
Authors	Country	Study	type		Single	Lowest	Highest
Andersson (2005a)	Sweden	1998	RP	1	1,425		
Andersson (2007)	Sweden	1998	SP	8		3,017	15,297
Atkinson and Halvorsen (1990)	US	1986	RP	1	5,521		
Beattie et al. (1998)	UK	1996	SP	4		1,51	17,06
Bhattacharya et al. (2007)	India	2005	SP	1	150		
Blomquist (1979)	US	1972	RP	1	1,832		
Blomquist et al. (1996)	US	1991	RP	4		1,434	7,17
Carthy et al. (1999)	UK	1997	SP	4		4,528	5,893
Corso et al. (2001)	US	1999	SP	2		3,517	4,69
Desaigues and Rabl (1995)	France	1994	SP	6		1,031	23,984
Dreyfus and Viscusi (1995)	US	1987	RP	1	4,935		
Ghosh et al. (1975)	UK	1973	RP	1	1,901		
Hakes and Viscusi (2007)	US	1998	SP	5		2,396	6,404
	US	1998	RP	6		2,288	10,016
Hojman et al. (2005)	Chile	2005c	SP	1	541		
Hultkrantz et al. (2006)	Sweden	2004	SP	2		2,192	5,781
Iragüen and Ortúzar (2004)	Chile	2002	SP	1	261		
Jara-Díaz et al. (2000)	Chile	1999	SP	1	4,555		
Jenkins et al. (2001)	US	1997	RP	9		1,35	4,867
Johannesson et al. (1996)	Sweden	1995	SP	4		5,798	6,981
Jones-Lee et al. (1985)	UK	1982	SP	1	4,981		
Kidholm	Denmark	1993	SP	3		898	1,338
Lanoie et al. (1995)	Canada	1986	SP	2		1,989	3,558
Maier et al. (1898)	Australia	1989c	SP	6		1,853	5,114
McDaniels (1992)	US	1986	SP	3		10,131	36,418

Melinek (1974)	UK	1974c	RP	1	881		
Persson et al. (2001)	Sweden	1998	SP	1	2,551		
Rizzi and Ortúzar (2003)	Chile	2000	SP	1	486		
Schwab Christe (1995)	Switzerland	1993	SP	1	1,094		
Vassanadumrongdee and Matsuoka (2005)	Thailand	2003	SP	2		3,208	5,458
Viscusi et al. (1990)	US	1991c	SP	1	11,091		
Winston et Mannering (1984)	US	1980	RP	1	2,315		

VSL estimates in US\$ 2005. Values transformed using purchasing power parities (PPP) and consumer price indices (CPI) from <http://stats.oecd.org>, 09/02/07. (For Chile and Thailand PPP and CPI from <http://www.imf.org/external/data.htm> were used.) a:

Many of the VSL estimates are from de Blaeij et al. (2003). b: Several studies contain more estimates than stated here. When available, "preferred" values have been used. c: Refers to year of study rather than data, since the latter not available.

## 16.8. Tablas de Infraestructura y Factores de Reducción de Accidentes

*Factores Reducción de Accidentes*

Tipo de Medida	Medida	Accidentes Tratados	% de reducción de accidentes			
			con fallecidos	con lesionados	sin lesionados	Total
1.Elementos de Contención	1.1 Barreras contención en mediana	Choques y Volcaduras	-43	-30	24	--
	1.2 Amortiguadores de impacto en puntos rígidos	Choques	-69	-69	-46	--
	1.3 Barreras de contención en sectores sin área despejada*.	Choques y Volcaduras	-44	-47	-7	--
2. Pistas Adelantamiento	2.1 Habilitación en un lado de la vía.	Todos	--	-18	-20	
	2.2 Habilitación en ambos lados de la vía.	Todos	--	-40	--	
3. Bermas	3.1 Implementación de berma.	Todos	--	-8	--	-6
4. Límites de Velocidad	4.1 Aumento límite de velocidad existente entre 15,0 y 18,6 km/hr.	Todos	26	16	16	--
	4.2 Disminución límite de velocidad existente entre 13,1 y 15,0 km/hr.	Todos	-15	-14	-5	--
5. Dispositivos para el Control de la Velocidad	5.1 Bandas alertadoras en intersecciones.	Todos	--	-33	-25	--
	5.2 Señalización velocidad recomendada antes de curvas.	Todos	--	-13	-29	--
6. Mejoramientos en Área Despejada*	6.1 Disminución de pendiente desde 1:3 a 1:4.	Con Vehículos Errantes Involucrados	--	-42**	-29**	--
	6.2 Disminución de pendiente desde 1:4 a 1:6.	Con Vehículos Errantes Involucrados	--	-22**	-24**	--
	6.3 Eliminación de obstáculos entre 1 m y 5 m de la calzada.	Con Vehículos Errantes Involucrados	--	--	--	-22**
	6.4 Eliminación de obstáculos entre 5 m y 9 m de la calzada.	Con Vehículos Errantes Involucrados	--	--	--	-44**
7. Mejoramientos Alineamiento Horizontal	7.1 Aumento del radio de curva horizontal desde menos de 200 m al rango 200-400 m.	Todos	--	--	--	-50
	7.2 Aumento del radio de curva horizontal desde el rango 200 -400 m al rango 400-600 m.	Todos	--	--	--	-33
	7.3 Aumento del radio de curva horizontal desde el rango 400 -600 m al rango 600-1.000 m.	Todos	--	--	--	-50
	7.4 Aumento del radio de curva horizontal desde el rango 600 -1000 m al rango 1.000-2.000 m.	Todos	--	--	--	-18
	7.5 Aumento del radio de curva horizontal desde el rango 1.000 -2.000 m a más de 2.000 m.	Todos	--	--	--	-12
	7.6 Aumento del radio de curva horizontal desde más de 2.000 a otro mayor, pero finito.	Todos	--	--	--	0
	7.7 Aumento del radio de curva horizontal desde más de 1.000 a recta.	Todos	--	--	--	10

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

\*\*Aplicable a accidentes de vehículos errantes.

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

Ministerio de Planificación, Mayo, 2011

*Factores Reducción de Accidentes*

Tipo de Medida	Medida	Accidentes Tratados	% de reducción de accidentes			
			con fallecidos	con lesionados	sin lesionados	Total
8. Mejoramientos Alineamiento Vertical	8.1 Reducción de pendiente desde más 7% al rango 5% a 7%.	Entre Vehículos Motorizados	--	--	--	-20*
	8.2 Reducción de pendiente desde el rango 5% a 7% al rango 3% a 5%.	Entre Vehículos Motorizados	--	--	--	-10*
	8.3 Reducción de pendiente desde el rango 3% a 5% al rango 2% a 3%.	Entre Vehículos Motorizados	--	--	--	-10*
	8.4 Reducción de pendiente desde el rango 2% a 3% al rango 1% a 2%.	Entre Vehículos Motorizados	--	--	--	-7*
	8.5 Reducción de pendiente desde el rango 1% a 2% a menos de 1%.	Entre Vehículos Motorizados	--	--	--	-2*
9. Mejoramiento Visibilidad	9.1 Remoción de obstáculos visuales en costado de la vía.	Todos	--	--	--	-20
10. Iluminación	10.1 Iluminación vía.	Con Baja Visibilidad o Noche	-64**	-28**	-17**	--
	10.2 Aumento del nivel de iluminación de la vía desde 2 a 5 veces al existente previamente.	Con Baja Visibilidad o Noche	--	-13**	-9**	--
	10.3 Aumento del nivel de iluminación de la vía desde 5 o más veces al existente previamente.	Con Baja Visibilidad o Noche	-50**	-32**	-47**	--
	10.4 Iluminación de vías de alta velocidad.	Con Baja Visibilidad o Noche	--	--	--	-25
11. Demarcación	11.1 Demarcación de líneas de bordes y eje central en curvas.	Todos	--	-24	--	--
	11.2 Demarcación de líneas de bordes y eje central más delineadores en curvas.	Todos	--	-45	--	--
	11.3 Demarcación de distancia recomendada entre vehículos (símbolo en ángulo) en carreteras.	Todos	--	-56	--	--
12. Medidas de Segregación de Conflictos	12.1 Implementación de mediana en vías de más de dos pistas.	Todos	--	-12	-18	--
	12.2 Segregación con demarcación de pistas en intersecciones de vías interurbanas en Cruz.	Todos	--	-57	--	--
	12.3 Segregación física de movimientos en intersecciones.	Todos	--	--	--	-30
	12.4 Implementación de pista para ciclistas.	Todos	--	--	--	-4
	12.5 Construcción By-pass.	Todos	--	-25	-27	--
	12.6 Desnivelar empalme.	Todos	--	--	--	-50
13. Mejoramientos del Perfil del Camino	13.1 Aumento del ancho de la vía desde sub estándar a anchos dentro normas de diseño en vías interurbanas.	Todos	--	-5	-13	--

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

\*\*Aplicable a accidentes de vehículos errantes.

### 16.9. Tabla de Resultados Accidentabilidad

Método Capital Humano CH				Método VSL			
año	valores tren UF	valores BUS UF	Diferencial UF	año	valores TREN UF	valores BUS UF	
2019	1208	9824	8616	2019	5029,8	25980,1	20950,3
2020	1248	9824	8576	2020	5196,5	25980,1	20783,6
2021	1289	9824	8535	2021	5367,0	25980,1	20613,1
2022	1331	9824	8493	2022	5541,6	25980,1	20438,5
2023	1374	9824	8450	2023	5720,2	25980,1	20260,0
2024	1417	9824	8407	2024	5902,9	25980,1	20077,2
2025	1462	9824	8362	2025	6089,8	25980,1	19890,3
2026	1491	9824	8333	2026	6210,0	25980,1	19770,1
2027	1491	9824	8333	2027	6210,0	25980,1	19770,1
2028	1491	9824	8333	2028	6210,0	25980,1	19770,1
2029	1491	9824	8333	2029	6210,0	25980,1	19770,1
2030	1491	9824	8333	2030	6210,0	25980,1	19770,1
2031	1491	9824	8333	2031	6210,0	25980,1	19770,1
2032	1491	9824	8333	2032	6210,0	25980,1	19770,1
2033	1491	9824	8333	2033	6210,0	25980,1	19770,1
2034	1491	9824	8333	2034	6210,0	25980,1	19770,1
2035	1491	9824	8333	2035	6210,0	25980,1	19770,1
2036	1491	9824	8333	2036	6210,0	25980,1	19770,1
2037	1491	9824	8333	2037	6210,0	25980,1	19770,1
2038	1491	9824	8333	2038	6210,0	25980,1	19770,1

### 16.10. Tabla de Resultados Cambio Climático

AÑO	Costo UF Emisiones buses	Costos UF Tren		Diferencial Costos UF
2019	4.477	2.607		1.871
2020	4.626	2.772		1.853
2021	4.778	2.861		1.917
2022	4.933	2.865		2.068
2023	5.092	2.921		2.171
2024	5.254	3.010		2.245
2025	5.421	3.010		2.411
2026	5.528	2.921		2.607
2027	5.528	2.921		2.607
2028	5.528	2.833		2.695
2029	5.528	2.833		2.695
2030	5.528	2.744		2.784
2031	5.528	2.567		2.961
2032	5.528	2.567		2.961
2033	5.528	2.479		3.049
2034	5.528	2.390		3.138
2035	5.528	2.302		3.226
2036	5.528	2.213		3.315
2037	5.528	2.213		3.315
2038	5.528	2.036		3.492

VAN Cambio Climático UF

30.428
--------

### 16.11. Tablas de Incidencia de la Contaminación en la Salud SECTRA

TABLA INCIDENCIA SECTRA SANTIAGO		TABLA INCIDENCIA SECTRA VALPARAISO	
PM2.5		PM2.5	
Efectos en Salud	Tasa (x 100 mil hab)	Efectos en Salud	Tasa (x 100 mil hab)
Mortalidad LP Todas las causas; de 18 a 65	736	Mortalidad LP Todas las causas; de 18 a 65	861
Mortalidad LP Todas las causas; de 65 a 100	745	Mortalidad LP Todas las causas; de 65 a 100	899
Mortalidad no Accidental; de 0 a 18	702	Mortalidad no Accidental; de 0 a 18	721
Mortalidad no Accidental; de 18 a 65	736	Mortalidad no Accidental; de 18 a 65	861
Mortalidad no Accidental; de 65 a 100	745	Mortalidad no Accidental; de 65 a 100	899
Enfermedad Pulmonar Crónica; de 18 a 65	28	Enfermedad Pulmonar Crónica; de 18 a 65	31
Enfermedad Pulmonar Crónica; de 65 a 100	418	Enfermedad Pulmonar Crónica; de 65 a 100	561
Neumonía; de 65 a 100	1.210	Neumonía; de 65 a 100	1920
Todas Cardiovasculares (Menos Infartos al Miocardio); de 65	3.355	Todas Cardiovasculares (Menos Infartos al Miocardio); de 65	5.077
Disritmia; de 65 a 100	996	Disritmia; de 65 a 100	1.554
Falla Congénita Cardíaca; de 65 a 100	1.339	Falla Congénita Cardíaca; de 65 a 100	1.853
Enfermedad Isquémica Cardíaca; de 65 a 100	674	Enfermedad Isquémica Cardíaca; de 65 a 100	991
Asma, Admisión Hospitalaria; de 0 a 18	24	Asma, Admisión Hospitalaria; de 0 a 18	27
Asma, Admisión Hospitalaria; de 18 a 65	24	Asma, Admisión Hospitalaria; de 18 a 65	27
Asma, ERV; de 0 a 18	0	Asma, ERV; de 0 a 18	0
Bronquitis; de 0 a 18	0	Bronquitis; de 0 a 18	0

Días de Actividad Restringida Menores; de 18 a 65	780.005
Work Loss Days; de 18 a 65	136.393
Ozono	
Efectos en Salud	Tasa (x 100 mil hab)
Mortalidad no Accidental; de 0 a 18	702
Mortalidad no Accidental; de 18 a 65	736
Mortalidad no Accidental; de 65 a 100	745
Enfermedad Pulmonar Crónica; de 18 a 65	28
Enfermedad Pulmonar Crónica; de 65 a 100	418
Neumonía; de 65 a 100	1.210
Disritmia; de 65 a 100	996
Asma, Admisión Hospitalaria; de 0 a 18	24
Asma, Admisión Hospitalaria; de 18 a 65	24
Días de Actividad Restringida Menores; de 18 a 65	780.005

Días de Actividad Restringida Menores; de 18 a 65	780.005
Work Loss Days; de 18 a 65	136.393
Ozono	
Efectos en Salud	Tasa (x 100 mil hab)
Mortalidad no Accidental; de 0 a 18	721
Mortalidad no Accidental; de 18 a 65	861
Mortalidad no Accidental; de 65 a 100	899
Enfermedad Pulmonar Crónica; de 18 a 65	31
Enfermedad Pulmonar Crónica; de 65 a 100	561
Neumonía; de 65 a 100	1.920
Disritmia; de 65 a 100	1.554
Asma, Admisión Hospitalaria; de 0 a 18	30
Asma, Admisión Hospitalaria; de 18 a 65	30
Días de Actividad Restringida Menores; de 18 a 65	780.005