



**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
BATUCO - MALLOCO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL INDUSTRIAL

CATALINA LÓPEZ GONZÁLEZ

**PROFESOR GUÍA:
JOSÉ MIGUEL CRUZ GONZÁLEZ**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
EDUARDO CONTRERAS VILLABLANCA
OSCAR SAAVEDRA ALLENDES
MANUEL DÍAZ ROMERO**

**SANTIAGO DE CHILE
2016**

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL INDUSTRIAL
POR: CATALINA LÓPEZ GONÁLEZ
FECHA: 4/3/2016
PROF. GUÍA: SR. JOSÉ MIGUEL CRUZ

EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS FERROVIARIOS CONSIDERANDO EXTERNALIDADES, APLICADO AL PROYECTO DE TRANSPORTE DE PASAJEROS BATUCO - MALLOCO

El tema de memoria consiste en cuantificar y analizar los beneficios por externalidades derivados del proyecto de transporte de pasajeros de los corredores Batuco – Santiago, y Malloco – Santiago, a cargo de la empresa EFE (Empresa de Ferrocarriles del Estado), y ver cómo éstos afectan la rentabilidad social del proyecto.

El motivo principal de la realización de este trabajo se haya en que la metodología entregada por el Ministerio de Desarrollo Social (MDS) para evaluar socialmente proyectos ferroviarios a EFE y otras empresas ferroviarias, no incluye metodologías ni exige un cálculo de externalidades. Como consecuencia, aristas importantes del desarrollo de un proyecto de este tipo podrían no estar siendo consideradas, afectando la realización del proyecto o los beneficios y costos, positiva o negativamente.

Dado este contexto, el objetivo general del trabajo es “evaluar socialmente el proyecto ferroviario de servicio de pasajeros de los corredores Batuco – Santiago – Malloco, de la empresa EFE (Empresa de Ferrocarriles del Estado) considerando externalidades”. En particular, las externalidades a tratar son accidentes, contaminación atmosférica y cambio climático.

Respecto a las externalidades, se realiza una recopilación bibliográfica, para luego dar paso a una metodología propuesta para calcular los beneficios del proyecto por cada una de éstas. La aplicación de estas metodologías da como resultado una variación positiva del VAN de 7,7% para el tramo Mapocho – Batuco, y de 1,8% para el tramo Alameda – Malloco. Para complementar esto, se realiza un análisis de riesgo que arroja el riesgo del proyecto respecto a ciertos factores. En particular, el proyecto es poco susceptible a variables propias de las externalidades, pero son críticas la inversión y tasa de crecimiento de la demanda en la rentabilidad del proyecto.

Se concluye la importancia de incluir el análisis de externalidades en la evaluación social. Sin embargo, los beneficios que pueda conllevar un proyecto respecto a las externalidades no son un reemplazo ni pueden fortalecer el objetivo principal por el que se realiza un proyecto de transporte, que tiene que ver con los ahorros de tiempo de viaje y conectividad.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a todos quienes han sido parte de mi proceso universitario.

TABLA DE CONTENIDO

1. Planteamiento General	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Descripción del Trabajo y Justificación	3
1.3. Objetivos	5
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	5
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	5
1.3.3. <i>Metodología del Trabajo</i>	5
1.4. Alcances	6
1.5. Resultados Esperados	6
2. Marco Conceptual	8
2.1. Análisis Costo Beneficio	8
2.2. Impactos	9
2.2.1. <i>Accidentabilidad</i>	9
2.2.2. <i>Contaminación Atmosférica</i>	9
2.2.3. <i>Cambio Climático</i>	10
2.3. Metodología para la evaluación socioeconómica de proyectos de transporte ferroviario. 10	
3. Descripción del Proyecto del Trabajo a realizar	14
3.1. Corredor Santiago – Malloco	14
3.1.1. <i>Evaluación Social de Tramo Alameda – Malloco</i>	15
3.2. Corredor Santiago – Batuco	19
3.2.1. <i>Información de Evaluación Social de tramo Santiago - Batuco</i>	20
4. Revisión Bibliográfica de Metodologías de Externalidades	25
4.1. Accidentabilidad	25
4.1.1. <i>Ministerio de Desarrollo Social (MDS)</i>	25
4.1.2. <i>Metodología de Luis Rizzi</i>	27
4.1.3. <i>Modelo de Jansson</i>	29
4.1.4. <i>INFRAS</i>	31
4.2. Contaminación Atmosférica	32
4.2.1. <i>INFRAS</i>	32
4.2.2. <i>Ministerio del Medio Ambiente</i>	36
4.3. Cambio Climático	38
4.3.1. <i>INFRAS</i>	39
4.3.2. <i>Rizzi</i>	39
4.3.3. <i>Barbero</i>	39
4.3.4. <i>Bellera</i>	40
4.3.5. <i>MAPS</i>	43
4.4. Valor de la Vida	44
4.4.1. <i>Discusión sobre el Valor de la Vida</i>	44
5. Metodologías Propuestas de Externalidades	48

5.1.	Metodología para Accidentabilidad	48
5.2.	Metodología para Contaminación Atmosférica	48
5.3.	Metodología para Cambio Climático	49
6.	Aplicación de Metodologías de Externalidades	50
6.1.	Accidentabilidad	51
6.1.1.	<i>Accidentes en el modo ferroviario.....</i>	<i>52</i>
6.1.2.	<i>Accidentes en el modo vial caminero.....</i>	<i>53</i>
6.1.3.	<i>Precios Sociales</i>	<i>58</i>
6.2.	Cambio Climático	58
6.2.1.	<i>Emisiones Indirectas de CO2</i>	<i>59</i>
6.2.2.	<i>Cálculo de Emisiones Directas de CO2</i>	<i>61</i>
6.2.3.	<i>Precios Sociales de Cambio Climático</i>	<i>62</i>
6.3.	Contaminación Atmosférica	63
6.3.1.	<i>Contaminación atmosférica por el modo ferroviario</i>	<i>63</i>
6.3.2.	<i>Contaminación atmosférica por el modo vial caminero</i>	<i>63</i>
6.3.3.	<i>Precios Sociales para Contaminación Atmosférica</i>	<i>73</i>
7.	Resultados	75
7.1.	Accidentabilidad	75
7.1.1.	<i>Accidentabilidad en tramo Mapocho – Batuco</i>	<i>75</i>
7.1.2.	<i>Accidentabilidad en tramo Alameda - Malloco</i>	<i>77</i>
7.1.3.	<i>Externalidad de Accidentabilidad en la Evaluación Social.....</i>	<i>78</i>
7.2.	Cambio Climático	79
7.2.1.	<i>Cambio Climático en tramo Mapocho – Batuco</i>	<i>79</i>
7.2.2.	<i>Cambio Climático en tramo Alameda – Malloco.....</i>	<i>80</i>
7.2.3.	<i>Externalidad de Cambio Climático en la Evaluación Social.....</i>	<i>80</i>
7.3.	Contaminación Atmosférica	80
7.4.	Evaluación Social con externalidades	82
8.	Análisis de Riesgo.....	85
9.	Conclusiones.....	89
9.1.	Respecto a la Accidentabilidad.....	89
9.2.	Respecto al Cambio Climático.....	90
9.3.	Respecto a la Contaminación Atmosférica.....	91
9.4.	Respecto al Análisis de Riesgo.....	92
9.5.	Respecto a la Evaluación Social.....	92
9.6.	Respecto a los datos utilizados.....	93
9.7.	Incorporación de la ciudadanía y fiscalización.....	94
9.7.1.	<i>Caso Empírico: Rancagua Express.....</i>	<i>95</i>
9.8.	Propuesta alternativa de adaptación de valoración de la vida para beneficios de accidentabilidad	96
10.	Bibliografía.....	98
ANEXOS	101	
I.	Proyectos Ferroviarios.....	101

<i>Proyecto Tipo I</i>	101
<i>Proyecto Tipo II</i>	101
<i>Proyectos Tipo III</i>	102
II. Información Técnica de los trenes	104
III. Participación de vehículos en accidentes.....	105
IV. Accidentes y Lesionados.....	106
V. Proyección de la Matriz Energética de Chile.....	108
VI. Factores de emisiones para combustibles utilizados en Chile	109
VII. Infraestructura y Factores de Reducción de Riesgo.....	110
VIII. Informe de la OMS sobre la Situación de la Seguridad Vial 2015.....	111
IX. Emisiones de CO2	113
X. Factores de emisión según norma y capacidad de buses	116
XI. Emisiones de Contaminantes	117
XII. Concentración de Contaminantes.....	118
XIII. Costos de Accidentabilidad.....	119
XIV. Costos de Cambio Climático.....	122
XV. Beneficios de Contaminación Atmosférica.....	125

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Costos promedio de externalidades del transporte de pasajeros, año 2000, EU 17. Fuente: “External Costs of Transport”, INFRAS 2004	2
Ilustración 2: Recorrido de proyecto ferroviario de Malloco a Alameda. Fuente: EFE	14
Ilustración 3: Crecimiento de demanda de proyecto en tramo Alameda - Malloco. Fuente: Elaboración propia.....	18
Ilustración 4: Beneficios por ahorro de tiempo de viaje de proyecto en tramo Alameda - Malloco. Fuente: Elaboración Propia.....	18
Ilustración 5: Recorrido de tren de Mapocho a Batuc. Fuente: EFE	20
Ilustración 6: Crecimiento de la demanda de pasajeros del proyecto en tramo Mapocho - Batuco. Fuente: Elaboración propia.	22
Ilustración 7: Beneficios por ahorro de tiempo de viaje de proyecto en tramo Mapocho - Batuco. Fuente: Elaboración propia.	23
Ilustración 8: Metodología ASIF. Fuente: Barbero.....	40
Ilustración 9: Cadena de obtención de energía para combustibles y electricidad. Fuente: Bellera. 41	
Ilustración 10: Apertura de modos según demanda y operación considerados en el modelo de emisiones. Fuente: MAPS.....	43
Ilustración 11: Accidentes evitados por tipo, en la ruta 5 norte, debido al proyecto. Fuente: Elaboración propia.....	56
Ilustración 12: Lesionados evitados en ruta 5 norte, debido al proyecto. Fuente: Elaboración propia	56
Ilustración 13: Accidentes evitados por tipo en tramo Alameda – Malloco, debido al proyecto. Fuente: Elaboración propia.....	57
Ilustración 14: Lesionados evitados en tramo Alameda – Malloco, debido al proyecto. Fuente: Elaboración propia.....	57
Ilustración 15: Proyección de factor de emisión CO2 del SIC. Fuente: Centro de energía, Universidad de Chile.....	60

Ilustración 16: Emisiones de CO2 del modo ferroviario en proyecto. Fuente: Elaboración Propia..	61
Ilustración 17: Toneladas de CO2 que dejan de emitir buses, con proyecto. Fuente: Elaboración propia.....	62
Ilustración 18: Contaminantes que dejan de emitirse en tramo Mapocho – Batuco. Fuente: Elaboración Propia	64
Ilustración 19: Contaminantes que dejan de emitirse en tramo Alameda – Malloco. Fuente: Elaboración propia.....	65
Ilustración 20: Concentraciones de MP2,5 que se evitan por proyecto en tramo Mapocho – Batuco. Fuente: Elaboración propia	66
Ilustración 21: Concentraciones de MP2,5 que se evitan por proyecto en tramo Alameda – Malloco. Fuente. Elaboración Propia.....	66
Ilustración 22: Concentraciones de O3 que se evitan por proyecto. Fuente: Elaboración propia ...	67
Ilustración 23: Tasa de crecimiento demográfico en Chile. Fuente: CIA World Factbook, 2015.	71
Ilustración 24: Distribución porcentual de la población por sexo, según grupos quinquenales de edad. Censo 2002 y Estimada al 2050. Fuente: INE.	71
Ilustración 25: Crecimiento poblacional (por 100.000 hab.) en área de influencia de tramo Mapocho – Batuco. Fuente: Elaboración propia	72
Ilustración 26: Crecimiento poblacional (por 100.000 hab.) en área de influencia de Alameda – Malloco. Fuente: Elaboración propia.	72
Ilustración 27: Costo total de accidentabilidad considerando ambos tramos del ´proyecto, diferenciados por ch y vsl. Fuente: Elaboración Propia.....	75
Ilustración 28: Beneficios por accidentabilidad en modo vial caminero en tramo Mapocho – Batuco diferenciados por CH y VSL. Fuente: Elaboración propia	76
Ilustración 29: Beneficio por accidentabilidad en tramo Mapocho – Batuco. Fuente: Elaboración propia	76
Ilustración 30: Beneficios por accidentabilidad en modo vial caminero en tramo Alameda – Malloco. Fuente: Elaboración Propia.....	77
Ilustración 31: Beneficios por accidentabilidad en tramo Alameda – Malloco. Fuente: Elaboración Propia.....	78
Ilustración 32: Costos de cambio climático en tramo Mapocho – Batuco. Fuente: Elaboración Propia.....	79
Ilustración 33: Costos de cambio climático en tramo Alameda – Malloco. Fuente: Elaboración propia	80
Ilustración 34: Beneficios por contaminación atmosférica en tramo Mapocho – Batuco. Fuente: Elaboración propia.....	81
Ilustración 35: Beneficios por contaminación atmosférica en tramo Alameda – Malloco. Fuente: Elaboración propia.....	81
Ilustración 36: Flujo de evaluación social con y sin externalidades en tramo Mapocho – Batuco. Fuente: Elaboración Propia.....	83
Ilustración 37: Flujos de evaluación social con y sin externalidades en tramo Alameda – Malloco. Fuente: Elaboración propia	84

TABLA DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de proyectos ferroviarios según impacto en la demanda. Fuente: Metodología MDS	10
---	----

Tabla 2: Costos de Inversión. Fuente: Elaboración propia a partir de Metodología MDS.	11
Tabla 3: Costos de operación y mantenimiento ferroviario. Fuente: Elaboración propia a partir de Metodología MDS.	11
Tabla 4: Costos de operación y mantenimiento vial. Fuente: Elaboración propia a partir de Metodología MDS.	12
Tabla 5: Costos de accidentes. Fuente: Elaboración propia a partir de Metodología MDS.	12
Tabla 6: Costos de inversiones requeridas en proyecto de tramo Alameda - Malloco. Fuente: EFE	15
Tabla 7: Cronograma de inversiones, factores de conversión a precios sociales, inversión privada y social de proyecto de tramo Alameda - Malloco-. Fuente: EFE.....	16
Tabla 8: Valor residual de las inversiones de proyecto en tramo Alameda - Malloco. Fuente: EFE	16
Tabla 9: Costos de operaciones anuales de proyecto en tramo Alameda - Malloco (MM\$)	17
Tabla 10:Tramo.....	17
Tabla 11: Beneficios por desnivelaciones de proyecto en tramo Alameda - Malloco. Fuente: EFE	17
Tabla 12: Indicadores de demanda inicial de proyecto para tramo Alameda - Malloco. Fuente: EFE	17
Tabla 13: Tasas de crecimiento de demanda de proyecto en tramo Alameda - Malloco. Fuente: EFE	17
Tabla 14: Parámetros para evaluación social de proyecto en tramo Alameda - Malloco. Fuente: EFE.....	19
Tabla 15: Indicadores de rentabilidad del corredor Alameda - Malloco. Fuente: EFE	19
Tabla 16: Inversión y cronograma de ejecución de proyecto en tramo Mapocho - Batuco.....	21
Tabla 17: Costos de operación anuales (MM\$) para proyecto en tramo Mapocho – Batuco.....	21
Tabla 18: Beneficios por desnivelación de proyecto en tramo Mapocho - Batuco. Fuente: EFE	21
Tabla 19: Tasas de crecimiento de demanda de tramo Mapocho - Batuco. Fuente: EFE	22
Tabla 20: Parámetros utilizados para evaluación social de tramo Mapocho - Batuco. Fuente: EFE23	
Tabla 21: Indicadores de rentabilidad del tramo Batuco - Mapocho. Fuente: Evaluación social de EFE.....	23
Tabla 22: Proporción de los costos asumidos por cada categoría de tráfico en choques en que intervienen dos partes. Fuente: Alcoholado 2006.....	29
Tabla 23: Costos económicos anuales externos por accidentes viales. Fuente: Alcoholado 2006 .	29
Tabla 24: Variables que se consideran por ítem. Fuente: INFRAS 2004	31
Tabla 25: 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.....	34
Tabla 26: Coeficiente de impacto medio (Número de efectos anuales por partes por billón de O3 por millón de personas de la población total). Fuente: CONAMA.....	34
Tabla 27: Ejemplos de valores de factores de emisión. Fuente: Bellera.	41
Tabla 28: Potencial de calentamiento global de CO2 y NOX. Fuente: Bellera 2013.	42
Tabla 29: Estimaciones de VSL en distintos países que se han aplicado para desarrollar políticas públicas. Fuente: Elaboración Propia.....	47
Tabla 30: Comunas y poblaciones por rango etario para el proyecto en tramo Mapocho - Batuco. Fuente: INE	51
Tabla 31: Comunas y poblaciones por rango etario para el proyecto en tramo Alameda - Malloco. Fuente: INE	51
Tabla 32: Accidentes ferroviarios en tramos Malloco - Alameda y Batuco - Mapocho. Fuente: EFE	52

Tabla 33: Accidentes totales y evitados en Ruta 5 Norte, debido al proyecto. Fuente: Elaboración propia	53
Tabla 34: Lesionados totales y evitados en Ruta 5 Norte, debido al proyecto. Fuente: Elaboración propia	53
Tabla 35: Accidentes evitados en la Autopista del Sol, debido al proyecto en el tramo Alameda - Malloco. Fuente: Elaboración propia	54
Tabla 36: Accidentes evitados en Autopista del Sol y Camino a Melipilla, debido al proyecto en el tramo Alameda - Malloco. Fuente: Elaboración propia.....	55
Tabla 37: Lesionados evitados en Autopista del Sol y Camino a Melipilla, debido al proyecto en el tramo Alameda - Malloco. Fuente: Elaboración propia.....	55
Tabla 38: Costos sociales unitarios asociados a lesionados. Fuente: MDS.....	58
Tabla 39: Costo Medio Social por daños a Vehículos Viales por tipo de accidente. Fuente: MDS .	58
Tabla 40: Costos sociales unitarios ferroviarios (UF/veh). Fuente: MDS	58
Tabla 41: Factores de Emisión según norma y capacidad de bus B2 (gr/km). Fuente: MMA	63
Tabla 42: Factores de Emisión - Concentración para la ciudad de Santiago. Fuente: SECTRA.....	65
Tabla 43: Funciones de concentración respuesta de salud recomendadas para material particulado. Fuente: SECTRA.....	68
Tabla 44: Funciones de concentración respuesta de salud recomendadas para ozono. Fuente: SECTRA.....	68
Tabla 45: Tasas de incidencia base en la RM. Fuente: Ministerio de Salud.	69
Tabla 46: Variaciones máximas de las tasas de incidencia debido al PM2,5. Fuente: Elaboración propia.	69
Tabla 47: Variaciones máximas de las tasas de incidencia debido al O3. Fuente: Elaboración propia.	70
Tabla 48: Valores unitarios en UF de enfermedades. Fuente: Ministerio de Salud	73
Tabla 49: Valores de la vida por Capital Humano, separados por rango etario. Fuente: Elaboración Propia.....	74
Tabla 50: VAN de accidentabilidad en tramo Mapocho – Batuco. Fuente: Elaboración propia.....	78
Tabla 51: VAN de accidentabilidad en tramo Alameda – Malloco. Fuente: Elaboración propia.....	78
Tabla 52: VAN de cambio climático. Fuente: Elaboración propia.	80
Tabla 53: VAN por contaminación atmosférica en proyecto. Fuente: Elaboración propia.....	82
Tabla 54: VAN por contaminación atmosférica con valor de VSL. Fuente: Elaboración propia	82
Tabla 55: Evaluación social con externalidades. Fuente: Elaboración propia.	82
Tabla 56: Proporción de VAN por ítem respecto a VAN final de proyecto. Fuente: Elaboración propia	83
Tabla 57: Factores de riesgo del proyecto. Fuente: Elaboración propia	86
Tabla 58: Matriz de correlaciones entre factores de riesgo. Fuente: Elaboración propia.....	86
Tabla 59: Desviaciones estándar de VAN de proyecto respecto a factores de riesgo. Fuente: Elaboración propia.....	87
Tabla 60: Infraestructura y factores de reducción de riesgo. Fuente: MDS.....	110
Tabla 61: Las 10 causas principales de muerte en personas de 15 a 29 años. Fuente: OMS, 2014	111

1. Planteamiento General

1.1. Antecedentes

En el ámbito de la eficiencia del transporte público en Santiago de Chile, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile ha desarrollado un Plan Maestro de Transporte de Santiago 2025 [1], como instrumento de planificación de transporte metropolitano, desarrollado como un programa coordinado de proyectos de los distintos modos de transporte y sus participantes -Transantiago, Metro, Empresa de Ferrocarriles del Estado (EFE), autopistas urbanas, ciclovías, etc.- e instituciones públicas y privadas.

El plan de inversiones aspira a apoyar una movilidad más sustentable a través de proyectos de ampliación de ciclovías y nuevos corredores y servicios de transporte público. En línea con este objetivo, se introducen trenes suburbanos fortaleciendo los ejes Norte-Sur y Oriente-Poniente mediante un nuevo tren de cercanía Peñaflor, Quinta Normal, Batuco previniendo una extensión a Melipilla y hacia el norte.

Este proyecto será desarrollado por EFE, empresa estatal chilena encargada de transporte de carga y pasajeros por ferrocarril. Sin embargo, antes de efectuar la inversión y construcción, una vez definido el Plan Maestro de Transporte, es necesario desarrollar una evaluación social del proyecto de manera de determinar la rentabilidad social de éste. Para llevar a cabo esta misión, EFE realiza la evaluación bajo la “Metodología para la evaluación socioeconómica de proyectos de transporte ferroviario” del Ministerio de Desarrollo Social (MDS) (más información sobre la metodología en el punto 2 de Marco Conceptual). Hoy en día el MDS incluye en la metodología costos y beneficios [2] relacionados a (más detalles en el punto 2.3.):

- Costos de inversión, operación y mantención
- Beneficios por liberación de recursos

Es así como las evaluaciones socioeconómicas entregadas por EFE contemplan estos costos y beneficios para decidir si un proyecto es rentable socialmente. Sin embargo, existe evidencia que muestra hay externalidades asociadas a los distintos modos viales, y que son necesarias evaluarlas cualitativa o cuantitativamente según el proyecto que se contemple. Dentro de las externalidades se puede encontrar:

- Accidentes
- Ruido

- Cambio Climático
- Contaminación Atmosférica
- 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 [20]. 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:

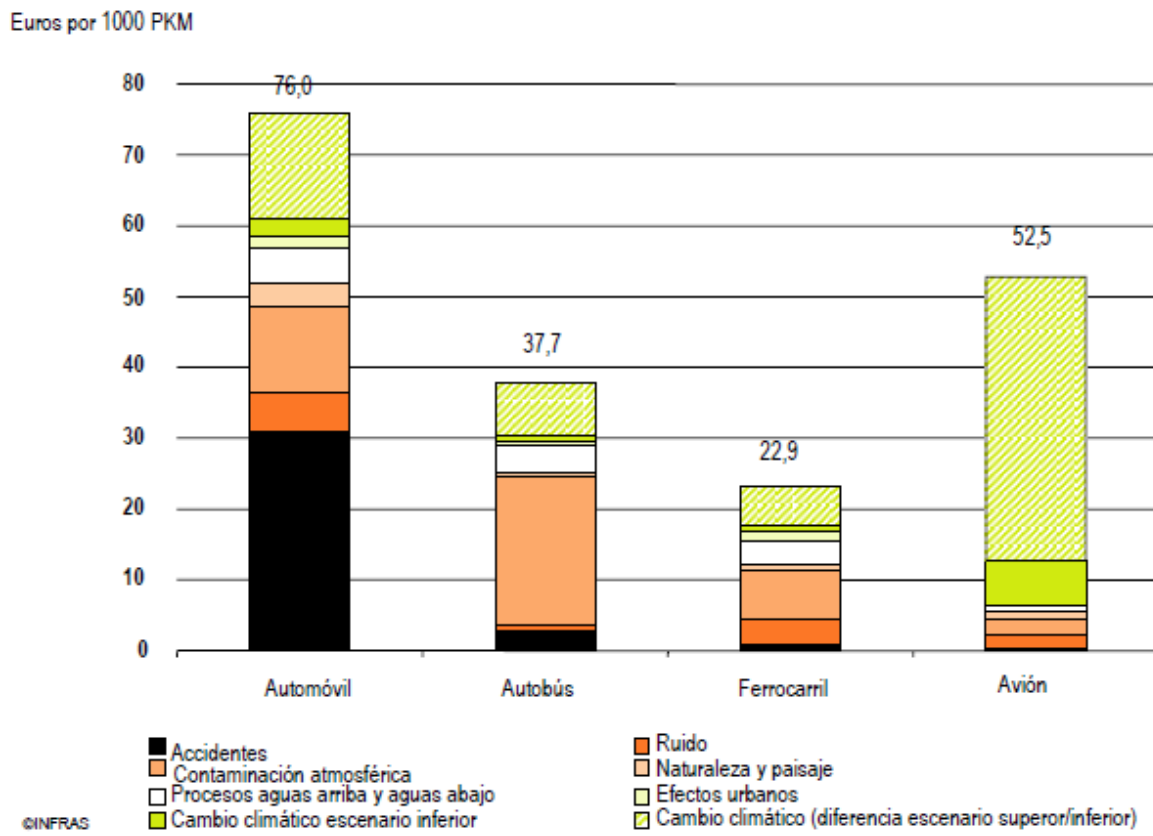


ILUSTRACIÓN 1: COSTOS PROMEDIO DE EXTERNALIDADES DEL TRANSPORTE DE PASAJEROS, AÑO 2000, EU 17. FUENTE: "EXTERNAL COSTS OF TRANSPORT", INFRAS 2004.

En la ilustración 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) [3], 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% respectivamente¹. 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, en específico para el proyecto de servicio ferroviario suburbano de transporte de pasajeros en los corredores Batuco – Santiago – Malloco, incorporando nuevos costos y beneficios que podrían ser claves para establecer de mejor manera la rentabilidad social de proyectos que actualmente están siendo evaluados en EFE.

1.2. Descripción del Trabajo y Justificación

Como se mencionó anteriormente, el trabajo consiste en realizar una evaluación social para proyectos de ferrocarriles considerando externalidades para el caso de los corredores Batuco - Santiago – Malloco, mediante la adaptación de metodologías de evaluación social de externalidades a la realidad del territorio chileno.

Las externalidades que se propone considerar son:

- **Accidentes:** Gastos asociados a cuidados médicos, pérdida de productividad económica, gastos administrativos, sufrimiento de víctima y familiares.
- **Contaminación atmosférica:** Daños sobre la salud debido a concentración de contaminantes en el ambiente como ozono y material particulado.
- **Cambio climático:** Este es un fenómeno producido por el 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. Respecto a esto, se proponer medir los

¹ Si se utilizan precios sombra altos.

daños a la biósfera producidos por el calentamiento global, debido a la emisión de CO₂ en los modos viales involucrados en el proyecto.

Estos costos externos son los elegidos debido a que como ya se dijo anteriormente, son los más significativos en el transporte de pasajeros para los distintos modos viales terrestres, según distintos estudios [3] [4], y es posible desarrollar una metodología estandarizada para evaluarlas socialmente dentro del país.

Los motivos por los cuales se justifica realizar la evaluación incluyendo estos factores están relacionados con la metodología misma para evaluar los proyectos ferroviarios. La investigación en el campo de la evaluación social de proyectos de transporte ha invertido esfuerzos en la valoración de los impactos, positivos y negativos, que un proyecto aporta a la sociedad. De esta manera, las externalidades pueden ser determinantes en la rentabilidad social, y es por esta razón que EFE en su misión de desarrollo sustentable del modo ferroviario ha encargado sumar beneficios y costos asociados a ellas a la evaluación social del caso a considerar, con la intuición de que la rentabilidad social podría aumentar considerablemente.

Así, lo primero será la elaboración de un estado del arte de los procedimientos de medición y valoración de las externalidades que se utilizan actualmente y los que se utilizan internacionalmente. A continuación, se desarrolla una metodología complementaria a la entregada por el MDS, y luego se evalúa el proyecto. En base a los resultados obtenidos se realiza un análisis de riesgo con los respectivos análisis de sensibilidad de las variables con mayor incertidumbre y las que tienen mayor influencia sobre los resultados de rentabilidad. A partir de esto, se extraerán conclusiones acerca de la necesidad de estimar con precisión los distintos parámetros que intervienen.

Si la evaluación revela que la rentabilidad es sensible a las externalidades, la metodología complementaria elaborada podría ser utilizada para evaluar proyectos anteriores de EFE que no se hayan llevado a cabo por su baja rentabilidad social, y si cambia significativamente, proponer a MDS en un futuro mejorar la metodología actual.

1.3. Objetivos

Es así como los objetivos son:

1.3.1. Objetivo General

Evaluar socialmente el proyecto ferroviario de la empresa EFE (Empresa de Ferrocarriles del Estado) de servicio de pasajeros de los corredores Batuco – Santiago – Malloco, considerando externalidades.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Adaptar metodologías de evaluación social de externalidades para proyectos de ferrocarriles a la realidad chilena.
- Mejorar metodología de evaluación social para proyectos de servicios ferroviarios de transporte de pasajeros del MDS incorporando externalidades de accidentes, contaminación atmosférica y cambio climático.
- Evaluar, en base a la metodología mejorada, la rentabilidad social de los proyectos.
- Analizar resultados de evaluación bajo metodología de MDS y la metodología mejorada complementaria.

Una vez definidos estos objetivos es relevante dar a conocer que la evaluación social del proyecto de corredores Batuco – Santiago – Malloco ya ha sido evaluada socialmente con costos y beneficios que no incluyen las externalidades que han sido mencionadas.

1.3.3. Metodología del Trabajo

Los pasos metodológicos buscan adecuarse a los objetivos planteados. Los principales pasos de la metodología desarrollada son:

Comenzar con una recopilación bibliográfica de evaluación social de costos externos del transporte terrestre que se han desarrollado para una estimación más aproximada y real de los costos y beneficios de proyectos de transporte. En particular, de INFRAS y Rizzi [3] [4] se deben extraer los principales costos externos (externalidades y efectos indirectos) que afectan la realización de un proyecto ferroviario de transporte de pasajeros. Posteriormente, ha de justificarse el desarrollo de metodologías de evaluación social de los costos externos elegidos.

Luego, se procederá 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 estimarán 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 procederá 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 30 años desde que se inicia la operación, más los años iniciales de inversión, y consecuentemente un VAN social y una TIR.

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

1.4. Alcances

Es importante recalcar que la evaluación social del proyecto de transporte ferroviario de pasajeros de los corredores Batuco – Santiago – Malloco ya ha sido realizada por la empresa EFE, por lo cual no se realizará nada de la formulación de evaluación social como por ejemplo: alternativas, involucrados, etc.

Tampoco se contempla dentro de los alcances del trabajo, la confección o elaboración de información primaria. El desarrollo y aplicación de metodologías se basará en información disponible de EFE y de fuentes públicas, y a falta de esto, se recurrirá a supuestos que sean lo más aproximados a la realidad.

1.5. Resultados Esperados

Se espera obtener del trabajo realizado:

- Adaptación de metodologías para evaluar costos de las externalidades de cambio climático, contaminación atmosférica y accidentabilidad en los modos de transporte ferroviario de pasajeros y transporte en buses de pasajeros.
- Evaluación de los beneficios estimados a partir de las metodologías adaptadas para cada una de las externalidades como resultado de la diferencia de costos por las diferencias de demandas en los distintos modos viales a trabajar en las situaciones con proyecto y sin proyecto, del proyecto de transporte ferroviario de pasajeros.
- Evaluación social del proyecto con la inclusión de los beneficios de los factores mencionados: flujo de caja, VAN social, TIR, análisis de riesgo.
- Comparación de los resultados de las evaluaciones sociales con la inclusión de factores y sin inclusión (la evaluación actual del proyecto).

En base a lo anterior, se espera proveer de una herramienta para la elaboración de mejores propuestas de evaluación para la empresa EFE, así como dejar en manifiesto los costos externos no considerados actualmente en la metodología del MDS, que permitan realizar una evaluación social más realista de los beneficios de los proyectos ferroviarios de transporte de pasajeros.

2. Marco Conceptual

2.1. Análisis Costo Beneficio

La metodología a utilizar 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 solo para el ejecutor en cuestión. Para realizar la evaluación social del proyecto se empleará un Análisis Costo Beneficio (ACB) bajo el enfoque de eficiencia, ampliamente utilizado en la evaluación de proyectos sociales [7]. 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 en análisis a partir del año 2017.

El periodo en el que se estiman los impactos del proyecto va desde el comienzo de la inversión hasta pasados 30 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 [2].

2.2. Impactos

Se pueden identificar 3 ámbitos de impactos [3] [4]:

- Accidentes
- Contaminación atmosférica
- Cambio climático

A continuación se desarrollará la explicación de cada impacto:

2.2.1. 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 del 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 de materiales asociados a los accidentes, ya que suelen existir seguros involucrados que los cubren, y por ende no corresponden a costos externos.

2.2.2. Contaminación Atmosférica

Dentro de la contaminación atmosférica se considera [8]:

- 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.

2.2.3. Cambio Climático

El cambio climático se refiere a los costos de oportunidad asociados 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 [8].

2.3. Metodología para la evaluación socioeconómica de proyectos de transporte ferroviario

Dentro de la metodología del MDS [2] 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 [5][6].

A partir de lo anterior, la metodología propone un análisis de demanda y oferta del proyecto. Para luego definir los costos de inversión, operación, mantención 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	
	Terrenos
	Movimientos de tierras
	Obras de arte
	Superestructura de la vía ferrea
	Electrificación
	Señalización y comunicaciones

TABLA 2: COSTOS DE INVERSIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE METODOLOGÍA 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 METODOLOGÍA 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 METODOLOGÍA 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 las víctimas
Costo humano	Pérdida de calidad de vida
	Dolor
	Pena de familiares y amigos de las víctimas

TABLA 5: COSTOS DE ACCIDENTES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE METODOLOGÍA 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.

3. Descripción del Proyecto del Trabajo a realizar

El proyecto de Servicio Ferroviario de Transporte de Pasajeros de los corredores Batico – Santiago – Malloco se puede dividir en 2 tramos y por consiguiente en 2 sub proyectos: Santiago – Malloco y Santiago Batico. Ambos proyectos corresponden al Plan Maestro de Transporte de Santiago 2025 realizado en el año 2013.

A modo de resumen, una descripción y principales resultados de la evaluación social de EFE de ambos corredores [4] [5]:

3.1. Corredor Santiago – Malloco

El objeto del proyecto es habilitar un servicio de transporte público considerado como una alternativa a los actuales servicios de buses que se encuentran en el corredor entre la Estación Central Alameda y Malloco, con un proyecto de servicio de transporte de pasajeros de alto estándar [5].

El servicio se caracterizaría por tener una frecuencia de trenes cada 4 minutos en hora punta, 2 vías para servicio de pasajeros y tarifa integrada a Transantiago desde Ciudad Satélite a Estación Central. Esto significa que los usuarios ahorrarían más de una hora de viaje, y tendrían conexión con línea 1 y 6 de Metro mejorando su conectividad. En la siguiente ilustración se muestran las estaciones del recorrido:



ILUSTRACIÓN 2: RECORRIDO DE PROYECTO FERROVIARIO DE MALLOCO A ALAMEDA. FUENTE: EFE.

Respecto a los plazos que se manejan para dar inicio a las operaciones, el año 2013 es dedicado a la ingeniería, entre 2014 y 2016 se realiza la construcción, durante el mismo 2016 se da la marcha blanca, para en el 2017 iniciar las operaciones.

3.1.1. Evaluación Social de Tramo Alameda – Malloco

3.1.1.1. Inversión

La inversión considera los ítems que se presentan en la siguiente tabla, con sus costos desglosados por tramo.

	Alameda - C. Satélite	C. Satélite - Malloco	TOTAL
OO.CC. e Infraestructura			
Vías férreas	52,9	27,3	80,1
Puentes y estructuras	6,9		6,9
Estaciones y obras conexas	7,3	2,4	9,7
Obras subterráneas			
Desnivelación de cruces	40,0	15,0	55,0
Pasos peatonales	3,9	1,1	4,9
Talleres y cocheras	4,6	1,9	6,5
Expropiaciones	4,5	4,5	9,0
Subtotal OO.CC. [MMUSD]	120,1	52,1	172,1
SEC			
Sistema de energía	21,0	10,8	31,8
Equipamiento de Talleres y cocheras	1,2	0,5	1,7
Sistema de señalización	19,6	9,3	28,9
Sistema de comunicaciones	4,0	2,0	6,0
Sistema de peajes	1,1	0,5	1,5
Subtotal SEC [MMUSD]	46,8	23,1	69,9
Material Rodante	67,1	27,9	95,0
Obras Metro	110,0		110,0
Ingeniería	7,7	2,5	10,3
ITO	4,3	1,3	5,6
TOTAL [MMUSD]	356,0	106,9	462,9

TABLA 6: COSTOS DE INVERSIONES REQUERIDAS EN PROYECTO DE TRAMO ALAMEDA - MALLOCO.
FUENTE: EFE.

Las inversiones consideran el confinamiento de todas las vías, y realizar cruces a desnivel en donde se requiera, es decir, no existirán cruces a nivel debido a la alta frecuencia de los trenes.

El cronograma de la ejecución de las obras, junto a los factores de conversión a precios sociales es el siguiente:

	2013	2014	2015	2016	Factor de conversión a precios sociales
Obras Civiles			40%	60%	0,8
Sistemas Eléctricos			40%	60%	0,8
Material Rodante Inicial		20%		80%	0,85
Obras de Metro S.A.			40%	60%	0,8
Ingeniería de detalle	50%	50%			0,8
ITO			50%	50%	0,8
Obras Civiles			68,9	103,3	172,1
Sistemas Eléctricos			28,0	41,9	69,9
Material Rodante Inicial		19,0		76,0	95,0
Obras de Metro S.A.			44,0	66,0	110,0
Ingeniería de detalle	5,1	5,1			10,3
ITO			2,8	2,8	5,6
Inversión Privada [MMUSD]	5,1	24,1	143,6	290,0	462,9
Inversión Social [MM\$]	2.139	10.560	59.913	122.969	195.580,8

TABLA 7: CRONOGRAMA DE INVERSIONES, FACTORES DE CONVERSIÓN A PRECIOS SOCIALES, INVERSIÓN PRIVADA Y SOCIAL DE PROYECTO DE TRAMO ALAMEDA - MALLOCO-. FUENTE: EFE.

Finalmente, el valor residual de la inversión es el que se muestra en la tabla:

Inversión	Monto [MMUSD]	Vida útil [años]	Valor residual [MMUSD]
Obras Civiles	137,7	80	86,1
Sistemas Eléctricos	55,9	30	0,0
Material Rodante inicial (2017)	80,7	40	20,2
Obras Civiles en Metro	88,0	80	55,0
Ingeniería de detalle	8,2	0	0,0
ITO	4,5	0	0,0
Valor Residual [MMUSD]			161,3

TABLA 8: VALOR RESIDUAL DE LAS INVERSIONES DE PROYECTO EN TRAMO ALAMEDA - MALLOCO. FUENTE: EFE.

3.1.1.2. Costos de Operación

Los costos de operación del tren consideran los costos de mantenimiento del material rodante, costos anuales de mantenimiento de las inversiones no contempladas en el peaje de infraestructura, consumo de energía, peaje de infraestructura, lavado de trenes, aseo de estaciones, personal de boleterías, maquinistas y operaciones, y costos de la administración.

Costos de Operación Anuales (MM\$)

Tramo	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2046
Alameda - Malloco	-7837	-7843	-8072	-8079	-8081	-8083	-8083

TABLA 9: COSTOS DE OPERACIONES ANUALES DE PROYECTO EN TRAMO ALAMEDA - MALLOCO (MM\$).

El valor social de estos costos se obtiene aplicando un factor de conversión social de 80% del valor privado.

3.1.1.3. Estimación de beneficios por desnivelación

Se considera los beneficios que tendría realizar las desnivelaciones en los cruces actuales que existen con la vía férrea, y los nuevos que habría con el proyecto.

Tabla 10:Tramo	Ben. Ajustado (MM\$)	
	Año 1	Año 10
Alameda - C. Satélite	34,8	54,1
C. Satélite - Malloco	16,7	66,1
Total	51,5	120,2

TABLA 11: BENEFICIOS POR DESNIVELACIONES DE PROYECTO EN TRAMO ALAMEDA - MALLOCO. FUENTE: EFE.

3.1.1.4. Estimación de beneficios por ahorro de tiempo

Para la estimación de beneficios por ahorro de tiempo se calcula la demanda que existiría en el año 2012:

Indicadores para el año 2012:	TKBC	Pax-km	Pax
Tramo Alameda - Malloco	23.905.483	341.506.899	25.087.020

TABLA 12: INDICADORES DE DEMANDA INICIAL DE PROYECTO PARA TRAMO ALAMEDA - MALLOCO. FUENTE: EFE.

La demanda del proyecto aumenta anualmente según las siguientes tasas:

Tasa de crecimiento de la demanda Alameda - Malloco	
Período 2013 - 2022	1,5%
Período 2023 - 2037	1,0%

TABLA 13: TASAS DE CRECIMIENTO DE DEMANDA DE PROYECTO EN TRAMO ALAMEDA - MALLOCO. FUENTE: EFE.

Según esto, se puede observar el comportamiento de la demanda en el periodo de evaluación:

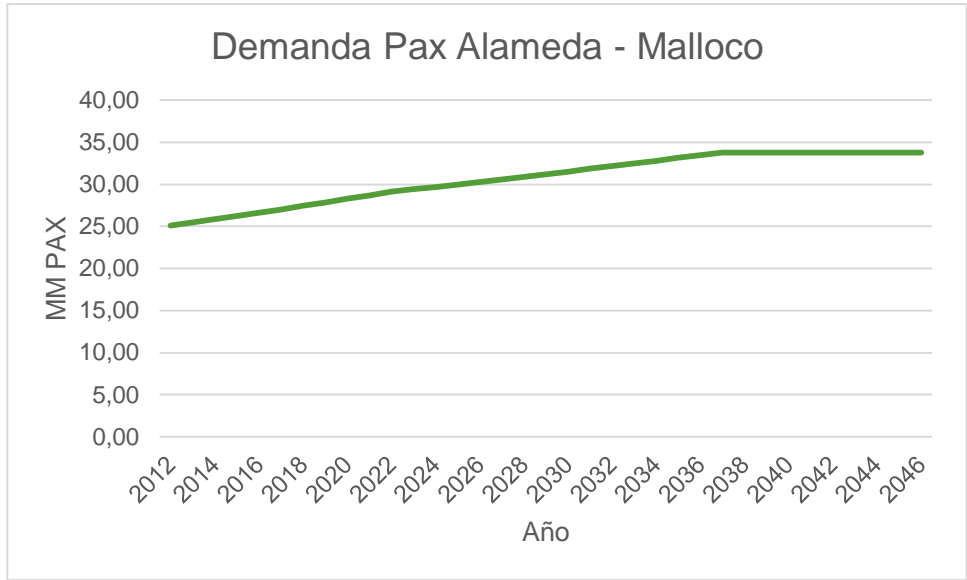


ILUSTRACIÓN 3: CRECIMIENTO DE DEMANDA DE PROYECTO EN TRAMO ALAMEDA - MALLOCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

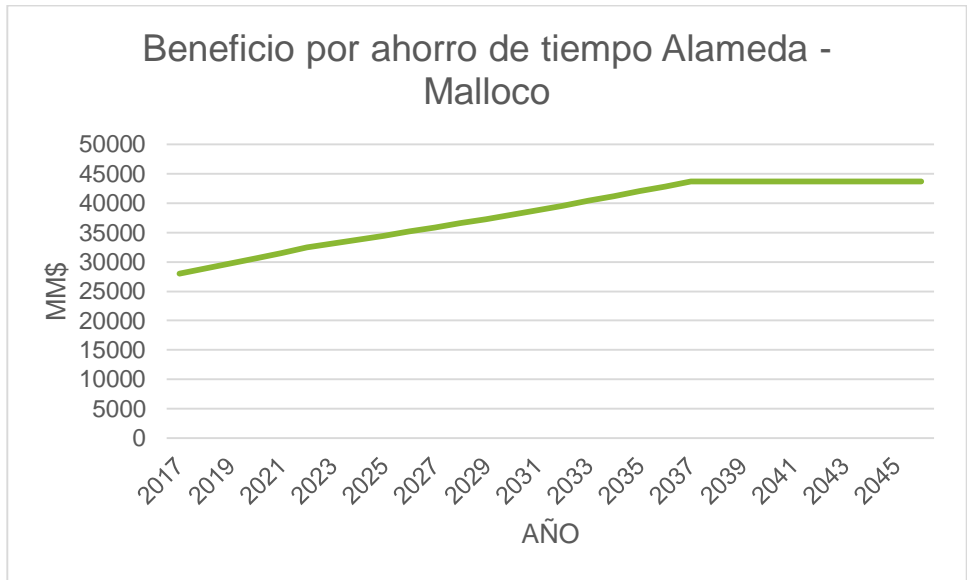


ILUSTRACIÓN 4: BENEFICIOS POR AHORRO DE TIEMPO DE VIAJE DE PROYECTO EN TRAMO ALAMEDA - MALLOCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

3.1.1.5. Indicadores de Rentabilidad

Para realizar la evaluación, se consideraron los parámetros expuestos a continuación:

Parámetros	
VST Dic 2011	1129
Tipo de cambio 31 dic 2011	521,46
UF (31-dic-2011)	22294,03
Bus Articulado US\$	325.000
Bus Normal US\$	185.000
Valor Social Bus MM\$	93,34
Factor Operación Auto/Bus	0,50
Factor Tiempo Auto/Bus	0,00
Factor Expansión Dda y Costos	2226,00
Tasa social de descuento	6%

TABLA 14: PARÁMETROS PARA EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTO EN TRAMO ALAMEDA - MALLOCO.
FUENTE: EFE.

Con estos valores y parámetros de evaluación que consideran una tasa social de descuento del 6% se obtienen los siguientes indicadores de rentabilidad:

Tramo	VAN (MM\$)	TIR(%)
Alameda – Malloco	181.670	12,8

TABLA 15: INDICADORES DE RENTABILIDAD DEL CORREDOR ALAMEDA - MALLOCO. FUENTE: EFE

Esto quiere decir que el proyecto es rentable socialmente bajo los parámetros indicados.

3.2. Corredor Santiago – Batuco

El objeto del proyecto es generar un servicio de transporte público que atienda la demanda de pasajeros provenientes de zonas periféricas del norte de la RM, con especial atención a los viajes originados y atraídos en Quilicura [6].

En el tramo de Mapocho a Las Industrias, el servicio se caracterizaría por tener una frecuencia de trenes cada 6 minutos, 2 vías para servicio de pasajeros en ese tramo y tener tarifa integrada con Transantiago, mientras que en el tramo de Las Industrias a Batuco, el servicio se caracterizaría por tener una frecuencia cada 24 minutos, 1 vía para servicio de pasajeros en el tramo y no tener tarifa integrada con Transantiago.

Esto se traduciría para los usuarios en un ahorro de aproximadamente una hora en cada viaje y mejor conectividad gracias a la conexión con línea 2 y 5 de Metro.

La siguiente ilustración muestra el recorrido del tren:



ILUSTRACIÓN 5: RECORRIDO DE TREN DE MAPOCHO A BATUC. FUENTE: EFE

El proyecto considera dentro de sus plazos el año 2013 realizar los trabajos de ingeniería, entre el 2014 y 2016 construir, para en el segundo semestre de éste año realizar la marcha blanca, y así iniciar operaciones en el 2017.

3.2.1. Información de Evaluación Social de tramo Santiago - Batuco

3.2.1.1. Inversión

La inversión considera los ítems que se presentan en la siguiente tabla, con sus costos desglosados por tramo, además del cronograma de ejecución de obras:

	2.013	2.014	2.015	2.016	Factor de conversión a precios sociales
Obras Civiles			40%	60%	0,8
Sistemas Eléctricos			40%	60%	0,8
Material Rodante Inicial		20%		80%	0,85
Obras de Metro S.A.			40%	60%	0,8
Ingeniería de detalle	50%	50%			0,8
ITO			50%	50%	0,8
Obras Civiles			64.329.679	96.494.518	160.824.197
Sistemas Eléctricos			23.501.075	35.251.613	58.752.688
Material Rodante		10.057.551		40.230.203	50.287.753

Inversiones de Metro S.A.					0
Ingeniería de detalle	3.373.308	3.373.308			6.746.616
ITO			2.023.985	2.023.985	4.047.970
Inversión Privada [USD]	3.373.308	13.430.859	89.854.739	174.000.318	280.659.224
Inversión Social [MM\$]	1.407	5.865	37.485	73.636	

TABLA 16: INVERSIÓN Y CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE PROYECTO EN TRAMO MAPOCHO - BATUCO

3.2.1.2. Costos de Operación

Los costos de operación del tren consideran los costos de mantenimiento del material rodante, costos anuales de mantenimiento de las inversiones no contempladas en el peaje de infraestructura, consumo de energía, peaje de infraestructura, lavado de trenes, aseo de estaciones, personal de boleterías, maquinistas y operaciones, y costos de la administración.

Tramos	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2046
Mapocho – Las Industrias	-3.797	-3.869	-4.114	-4.355	-4.384	-4.386	-4.386
Las industrias - Batuco	-607	-607	-608	-609	-610	-611	-611

TABLA 17: COSTOS DE OPERACIÓN ANUALES (MM\$) PARA PROYECTO EN TRAMO MAPOCHO – BATUCO.

El valor social de estos costos se obtiene aplicando un factor de conversión social de 80% del valor privado.

3.2.1.3. Estimación de beneficios por desnivelación

Se considera los beneficios que tendría realizar las desnivelaciones en los cruces actuales que existen con la vía férrea, y los nuevos que habría con el proyecto.

Tramo	Ben. Ajustado (MM\$)	
	Año 1	Año 10
Mapocho - Batuco	214	274

TABLA 18: BENEFICIOS POR DESNIVELACIÓN DE PROYECTO EN TRAMO MAPOCHO - BATUCO. FUENTE: EFE.

3.2.1.4. Estimación de beneficios por ahorro de tiempo

Para la estimación de beneficios por ahorro de tiempo se calcula la demanda que existiría en el año 2012:

Pax anuales	
Bucle urbano 2015	13.872.432
Bucle suburbano 2015	903.756
Total	14.776.188

TABLA 19: ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS POR AHORRO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La demanda del proyecto aumenta anualmente según las siguientes tasas:

Tasa de crecimiento de la demanda de tramo mapocho - Batuco

Período 2015 - 2025			6,6%
Período 2026 - 2035			3,3%

TABLA 20: TASAS DE CRECIMIENTO DE DEMANDA DE TRAMO MAPOCHO - BATUCO. FUENTE: EFE.

Según esta información, la demanda tiene el comportamiento que se observa en el gráfico:

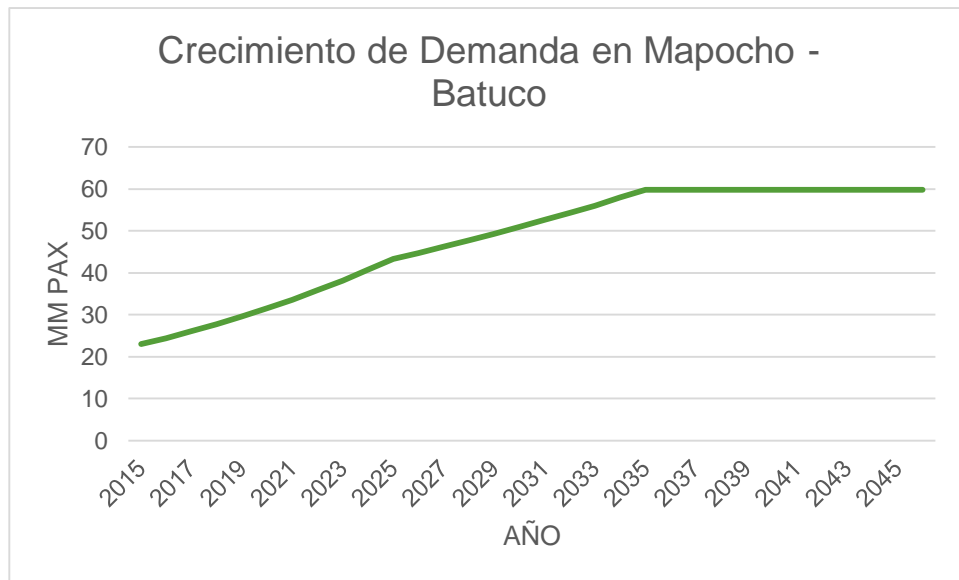


ILUSTRACIÓN 6: CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DE PASAJEROS DEL PROYECTO EN TRAMO MAPOCHO - BATUCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Con la demanda y estimación de tiempos de viaje, se obtiene el beneficio por ahorro de tiempo en millones de peso, que se comporta de la siguiente manera:

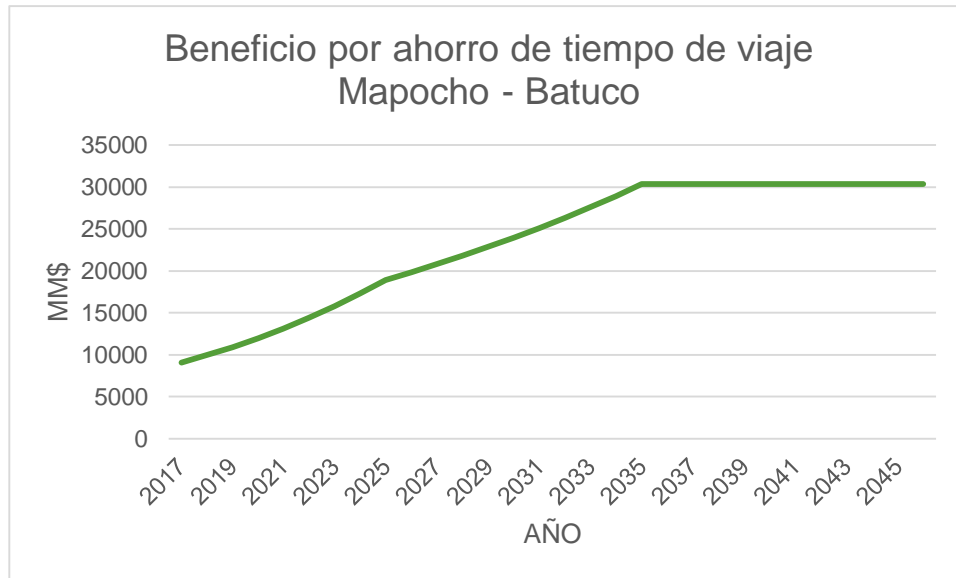


ILUSTRACIÓN 7: BENEFICIOS POR AHORRO DE TIEMPO DE VIAJE DE PROYECTO EN TRAMO MAPOCHO - BATUCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

3.2.1.5. Indicadores de rentabilidad

Para realizar la evaluación, se consideraron los parámetros expuestos a continuación:

Parámetros	
VST Dic 2011	1129
Tipo de cambio 31 dic 2011	521,46
UF (31-dic-2011)	22294,03
Bus Articulado US\$	325.000
Bus Normal US\$	185.000
Valor Social Bus MM\$	93,34
Factor Operación Auto/Bus	0,50
Factor Tiempo Auto/Bus	0,00
Factor Expansión Dda y Costos	2226,00
Tasa Dcto	6%

TABLA 21: PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EVALUACIÓN SOCIAL DE TRAMO MAPOCHO - BATUCO. FUENTE: EFE.

Con estos parámetros se obtienen los siguientes indicadores de rentabilidad.

Tramo	VAN (MM\$)	TIR(%)
Mapocho - Batuco	105.035	11,3

TABLA 22: INDICADORES DE RENTABILIDAD DEL TRAMO BATUCO - MAPOCHO. FUENTE: EVALUACIÓN SOCIAL DE EFE.

Con estos indicadores se puede concluir que el proyecto es rentable socialmente bajo los parámetros empleados.

4.Revisión Bibliográfica de Metodologías de Externalidades

4.1. 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.

4.1.1. Ministerio de Desarrollo Social (MDS)

Para determinar los costos asociados a los accidentes [2], 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, dependiente de variables que sean fácilmente proyectables, 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.

4.1.1.1. 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.

4.1.1.2. 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:

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

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

Donde:

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:

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

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.

4.1.1.3. 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.

4.1.2. Metodología de Luis Rizzi

Rizzi [4] 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 [15], basado en la metodología de Rizzi.

		Otra categoría involucrada en el accidentes							
		Buses	Camiones	Vehículos Particulares	Taxis	Vehículos Comerciales	Motocicletas	Peatones	Ciclistas
Categoría de tráfico	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 23: 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
TOTAL		18.238	1.022

TABLA 24: COSTOS ECONÓMICOS ANUALES EXTERNOS POR ACCIDENTES VIALES. FUENTE: ALCOHOLADO 2006.

4.1.3. Modelo de Jansson

Jansson [4] formaliza un modelo de costos externos de accidentes viales, considerando corrientes homogéneas de tráfico y corrientes heterogéneas.

4.1.3.1. 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) ($a \cdot r$) por kilómetro circulado. Esta diferencia entrega el impuesto pigouviano que debería cobrarse a los conductores.

$$\text{Entonces: } CME = ((a + c) \cdot r \cdot E_r^Q) + (c \cdot r)$$

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.

4.1.3.2. 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:

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

4.1.4. INFRAS

Las variables que se consideran en el estudio [3], 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 25: VARIABLES QUE SE CONSIDERAN POR ÍTEM. FUENTE: INFRAS 2004.

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

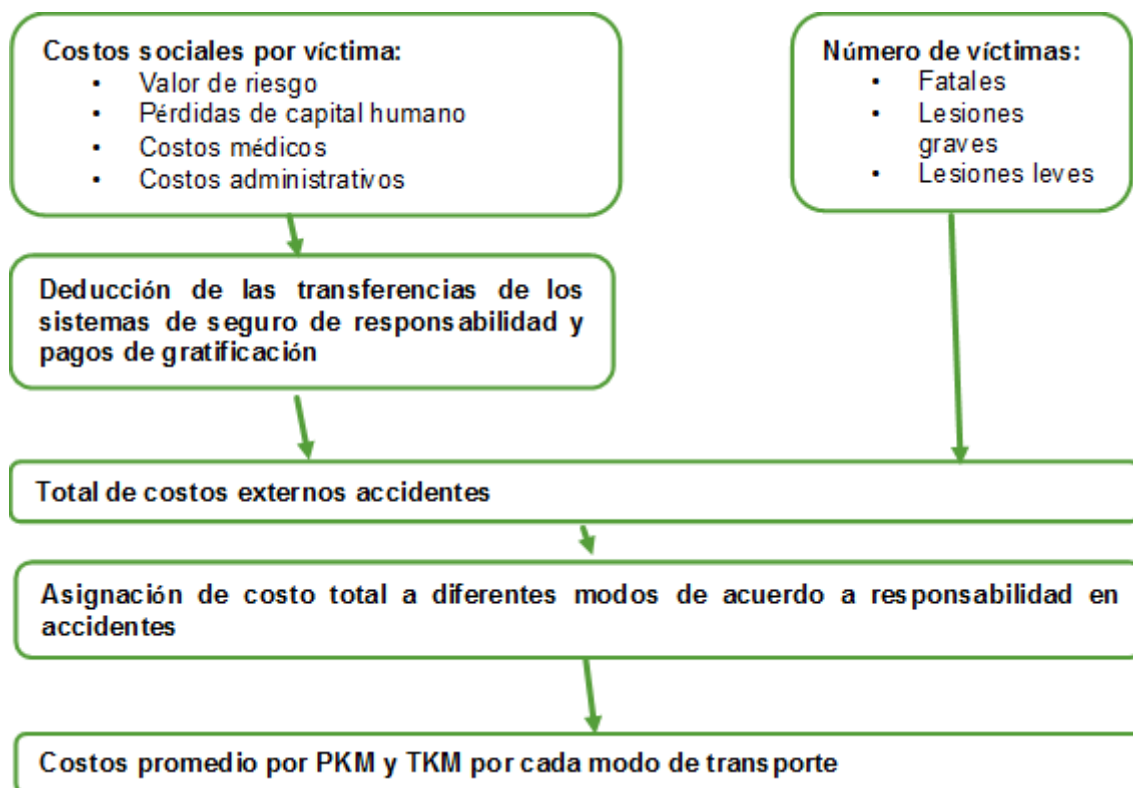


ILUSTRACIÓN 8: ESQUEMA CON METODOLOGÍA INFRAS. FUENTE: INFRAS.

Donde:

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

4.2. 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).

4.2.1. 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.

4.2.1.1. 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 ≥ 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 ≤ 15 años)
- Ataques de asma (adultos ≥ 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) [11] 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 26: 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.

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 27: COEFICIENTE DE IMPACTO MEDIO (NÚMERO DE EFECTOS ANUALES POR PARTES POR BILLÓN DE O3 POR MILLÓN DE PERSONAS DE LA POBLACIÓN TOTAL). FUENTE: CONAMA.

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.

4.2.1.2. Daños a las edificaciones

El daño a las edificaciones es generado principalmente por los gases denominados como NO_x, siendo los más populares el NO₂ 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.

4.2.1.3. 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 NOx emitidos por el proyecto. Se compone de un coeficiente y es expresado finalmente en las unidades de [Ton*EUR/t]:

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

4.2.2. 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
- Escenarios

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 Análisis General de Impacto Económico y Social (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
- Tecnología de las fuentes
- Tipo de combustible
- 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.

4.3. 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.

4.3.1. INFRAS

INFRAS [3] 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 CO₂, el metano y el NO_x como los principales causantes, sin embargo, INFRAS solo considera el CO₂ para los cálculos.

El costo de las emisiones de CO₂ son básicamente calculadas mediante la multiplicación de la cantidad de CO₂ que es emitida por un factor de costo. Este factor corresponde al valor sombra por tonelada de CO₂, 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 CO₂. 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 CO₂). Se considera apropiado utilizar un valor sombra alto, mayor al necesario para alcanzar objetivos de largo plazo (Escenario Alto – 140 euros por ton de CO₂), 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.

4.3.2. Rizzi

Rizzi [4] menciona que el costo externo por emisiones de CO₂ de fuentes móviles, se obtiene multiplicando el total de toneladas de CO₂ emitidas por el precio del bono de tonelada de carbono. Las emisiones de CO₂ 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 CO₂, 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.

4.3.3. Barbero

El estudio de Barbero [12] 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 CO2 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 9: METODOLOGÍA ASIF. FUENTE: BARBERO.

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.

4.3.4. Bellera

Bellera [13] 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.

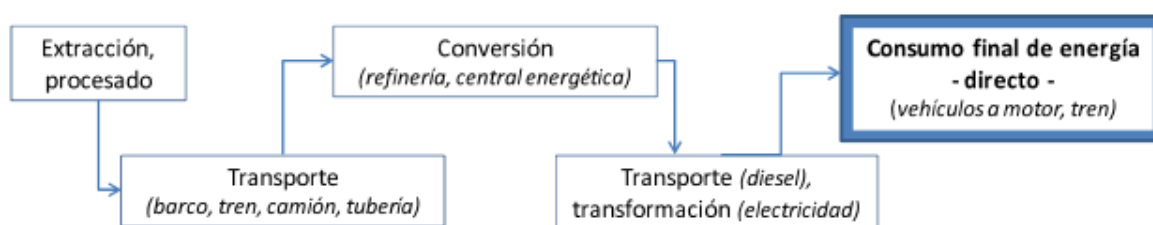


ILUSTRACIÓN 10: CADENA DE OBTENCIÓN DE ENERGÍA PARA COMBUSTIBLES Y ELECTRICIDAD. FUENTE: BELLERA.

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

TABLA 28: EJEMPLOS DE VALORES DE FACTORES DE EMISIÓN. FUENTE: BELLERA.

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 CO₂ y el NO_x, 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 ₂	1
NO _x	296

TABLA 29: POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL DE CO₂ Y NO_x. FUENTE: BELLERA 2013.

De esta forma, el equivalente de CO₂ se calcula según la siguiente expresión:

$$\text{Equivalente de CO}_2 = GWP_{CO_2} * \text{emisiones CO}_2 + GWP_{NO_x} * \text{emisiones NO}_x$$

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

$$\text{Costo del cambio climático} = \text{Equivalente de CO}_2(t_{CO_2}) * \text{Valor emisiones} \left(\frac{\$}{t_{CO_2}} \right)$$

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 NO_x. Ello debe tenerse en cuenta a la hora de calcular el impacto del costo del cambio climático.

4.3.5. MAPS

El estudio de Mitigation Action Plan & Scenarios (MAPS) [14] 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:

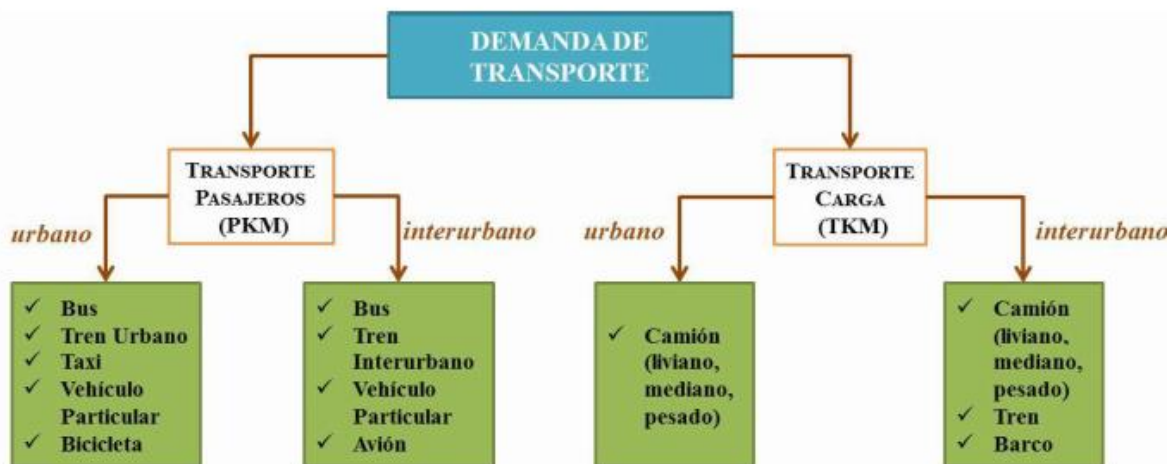


ILUSTRACIÓN 11: APERTURA DE MODOS SEGÚN DEMANDA Y OPERACIÓN CONSIDERADOS EN EL MODELO DE EMISIONES. FUENTE: MAPS

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.

4.4. Valor de la Vida

Debido a su importancia en la evaluación social, es necesario revisar las metodologías que se utilizan para asignar un valor a los costos que tiene para la sociedad la muerte de una persona.

4.4.1. Discusión sobre el 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.

La literatura entrega dos enfoques para estimar este valor:

4.4.1.1. 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 [18].

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

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. En efecto, la forma de calcular es la siguiente:

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

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)
- $R_{a,s}$: proporción de la población total nacional en edad (a) y de género (s)
- $P_{a,s}(n)$: probabilidad de una persona (edad (a) y género (s)) de sobrevivir subsecuentemente a edad (n)
- $E_s(n)$: proporción de la población general de edad (n) y género (s) empleada en la fuerza laboral
- $Y_s(n)$: 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.

Como resultado, MDS obtiene la estimación promedio de 3.133UF \$/fallecido.

Desventajas

El CH 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. 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.

4.4.1.2. 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 se encuentra que utiliza 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 (VSL)

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.

Las desventajas son su alta subjetividad, sesgos de encuestas y costo de implementarlas.

En la siguiente tabla se muestran algunas estimaciones de VSL:

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 30: ESTIMACIONES DE VSL EN DISTINTOS PAISES QUE SE HAN APLICADO PARA DESARROLLAR POLÍTICAS PÚBLICAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En el caso de Chile, el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) realizó una estimación del VSL en el año 2013, obteniendo un resultado de \$15.300 UF [9].

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 [31] 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.

5. Metodologías Propuestas de Externalidades

5.1. Metodología para 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 CH, 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 el VSL, 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 metodologías de CH y VSL, y compararlos, debido a que se prevé en un futuro MDS migre a utilizar un valor mayor al utilizado actualmente.

5.2. Metodología para Contaminación Atmosférica

Se usará como base la metodología INFRAS, y la parte de valoración de los beneficios de externalidades de la guía metodológica del MMA. 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).

5.3. Metodología para 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 CO₂ 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:

$$E[tonCO_2eq] = NivelActividad * FactorEmisión$$

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:

$$\frac{kgCO_2eq}{kWh} \text{ o } \frac{kgCO_2eq}{lt \text{ diésel}}$$

Finalmente, se calcula el costo del cambio climático como:

$$Costo \text{ del cambio climático} = Equivalente \text{ de } CO_2(t_{CO_2}) * Valor \text{ emisiones } \left(\frac{\$}{t_{CO_2}} \right)$$

6. Aplicación de Metodologías de Externalidades

Para aplicar las metodologías expuestas anteriormente, es necesario contar con los datos que éstas requieren y darse supuestos para modelar el comportamiento de los costos externos en el periodo de evaluación social, correspondiente a 30 años. Los parámetros generales utilizados, y en los cuales se basa EFE para su evaluación social, para realizar los cálculos son los siguientes:

- Los tramos correspondientes al proyecto son paralelos o sustituyen los viajes realizados por transporte caminero de la Ruta 5 Norte hasta peaje de Lampa, Autopista del Sol hasta el peaje de Malloco, y Camino a Melipilla hasta Malloco.
- Las vías férreas en el tramo de Mapocho a Batuco tienen una longitud de 27,1 km y en el tramo de Alameda a Malloco tienen una longitud de 25 km.
- Mediante transporte caminero, el viaje desde Santiago a Batuco comprende una distancia de 30 km aproximadamente, y el viaje desde Santiago a Malloco, 25 km.
- Servicios anuales de buses en tramo de Santiago a Batuco proyectados al año 2017, equivalentes al transporte de demanda inicial del proyecto en tramo Mapocho - Batuco: 783.138
- Servicios anuales de buses en tramo de Santiago a Malloco proyectados al año 2017, equivalentes al transporte de demanda inicial del proyecto en tramo Alameda - Malloco: 1.312.338
- La infraestructura vial ferroviaria cuenta con una red confinada a lo largo de los tramos, y sin pasos a nivel.
- El proyecto reduce los servicios de buses equivalentes a la demanda inicial del proyecto en un 4%.
- Los trenes de pasajeros son eléctricos, circulan a una velocidad promedio de 70 [km/hr], y tienen una potencia de 1270 [kW] (ver anexo II).
- Tasa de crecimiento de las demandas en ambos tramos en el periodo de evaluación, son las que se muestran en las tablas n°4 y n°8.

Los parámetros generales que se utilizan que pertenecen a información obtenida únicamente para la realización del trabajo presente son:

- Los buses interurbanos transportan en promedio 20 pasajeros [33] por servicio.
- La eficiencia de un bus es de 5 – 7 [km/l] [34] y se mantiene durante el periodo de evaluación.

- Las comunas y sus poblaciones por rango etario estimadas al año 2017 [22] pertenecientes al área de influencia del proyecto (para externalidades) en el tramo Mapocho – Batuco son las que se muestran en la siguiente tabla:

Comuna	Población 2017	0-17 años	18 - 64	65 - 99
Santiago	384.711	55.046	270.452	60.973
Lampa	97.934	28.511	60.518	8.095
Quilicura	222.834	68.364	147.105	8.999
Renca	152.678	38.316	101.717	13.233
Quinta Normal	116.627	23.535	75.091	17.591
Colina	128.608	35.667	85.064	8.029
TOTAL	1.103.392	249.439	739.947	116.920

TABLA 31: COMUNAS Y POBLACIONES POR RANGO ETARIO PARA EL PROYECTO EN TRAMO MAPOCHO - BATUCO. FUENTE: INE.

- Las comunas y sus poblaciones por rango etario estimadas al año 2017 [22] pertenecientes al área de influencia del proyecto (para externalidades) en el tramo Mapocho – Batuco son las que se muestran en la siguiente tabla:

Comuna	Pob 2017	0-17 años	18 - 64	65 - 99
Estación Central	146.384	29.188	96.878	20.411
Maipú	556.104	148.473	374.929	35.721
Cerrillos	87.656	19.833	57.309	9.972
Padre Hurtado	59.011	15.132	38.388	5.155
Talagante	71.621	19.966	45.947	6.093
Peñaflor	94.485	24.067	60.925	8.405
El Monte	37.666	10.047	23.188	3.826
TOTAL MALLOCO	1.052.927	266.706	697.564	89.583

TABLA 32: COMUNAS Y POBLACIONES POR RANGO ETARIO PARA EL PROYECTO EN TRAMO ALAMEDA - MALLOCO. FUENTE: INE.

- La tasa de crecimiento demográfico estimada corresponde a un 0,55% [30]

Ya descritos los parámetros generales que se utilizan para aplicar las metodologías de evaluación de externalidades, a continuación se describe el procedimiento de los cálculos de las externalidades.

6.1. Accidentabilidad

En accidentabilidad se deben considerar los accidentes que existirían en la situación con proyecto en el modo vial ferroviario, y la cantidad de accidentes que se evitarían en el modo vial caminero por el proyecto, para determinar el beneficio de éste. Por lo tanto, los cálculos se dividen según esto.

6.1.1. Accidentes en el modo ferroviario

Actualmente no existe el servicio de transporte de pasajeros ferroviario en los tramos Batuco – Malloco, sin embargo, sí existe el servicio de transporte de carga. Los accidentes reportados en los últimos años son los siguientes:

Proyecto	Año	Fallecido	Grave	Leves	Menos Grave	S/L	Total general
Proy Malloco	2009	1	3			9	13
	2010	2	1			7	10
	2011	2	4	2		13	21
	2012	3	1	6	2	15	27
	2013	4	1	8		16	29
	2014	1	3	3	1	17	25
	2015	1	1	6		13	21
Proy Batuco	2009		3	1		3	7
	2010		2	1		9	12
	2011	1				11	12
	2012		2			5	7
	2013	1	2	4		10	17
	2014	3		4		12	19
	2015	2				4	6
Total general		21	23	35	3	144	226

TABLA 33: ACCIDENTES FERROVIARIOS EN TRAMOS MALLOCO - ALAMEDA Y BATUCO - MAPOCHO.
FUENTE: EFE.

Como actualmente las vías no son confinadas, tienen pasos a nivel y transportan carga, no son adecuadas para estimar la accidentabilidad para el proyecto. Es por esto que se hace revisión de los accidentes de Merval (Metro de Valparaíso) [23], que cuenta con servicio de pasajeros con una alta frecuencia de trenes. Tiene un corredor de 43 km de longitud, y atraviesa distintas zonas urbanas. Por lo cual se tomará como referencia los accidentes de Merval para ambos tramos del proyecto.

Entonces, se considera que los accidentes que generaría el proyecto anualmente son:

- Tipo de accidentes: 3 atropellos y 2 colisiones (recordar que para accidentes ferroviarios se recomienda considerar sólo atropellos y colisiones).
- Gravedad de lesionados: 2 muertos y 2 graves.

Esta accidentabilidad no variará en el periodo de evaluación para efectos de la estimación de los costos por esta externalidad, debido a que la accidentabilidad ferroviaria no depende de la cantidad de pasajeros transportados, sino de la

seguridad asociada a la infraestructura de la vía, y la densidad poblacional de las zonas por las que pasa. Por lo tanto, variar la accidentabilidad dependería de hacer supuestos respecto a una disminución de la seguridad con la que está diseñada la vía, y un aumento de zonas de riesgo de accidentes alrededor de esta misma.

6.1.2. Accidentes en el modo vial caminero

En este caso, el procedimiento de cálculo consiste en estimar cuántos accidentes se evitan en el modo vial caminero, gracias a la demanda de pasajeros que captura el tren.

Para el caso del tramo de Mapocho a Batuco, se considera la ruta 5 norte hasta el peaje Lampa [24], tramo de la carretera en el ocurre el 60% de los accidentes totales que se producen en la ruta según los datos del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Además, el 11,7% de los vehículos que circulan en la ruta, son buses. Y como se dijo en los parámetros generales, los servicios anuales de buses que dejan de funcionar corresponden al 4% de los que se prestan actualmente en los tramos. Por lo tanto, los accidentes que se evitan al año 2017 son los que se muestran en la tabla siguiente:

RUTA 5		Tipos de accidentes con lesionados				
Tramo	Atropello	Caída	Volcadura	Colisión	Choque	Otros
TOTAL	22	1	37	125	59	27
LAMPA	13,2	0,6	22,2	75	35,4	16,2
BUSES	1,5	0,1	2,6	8,8	4,1	1,9
Acc evitados	0,1	0,0	0,1	0,4	0,2	0,1

TABLA 34: ACCIDENTES TOTALES Y EVITADOS EN RUTA 5 NORTE, DEBIDO AL PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Y los lesionados que se evitarían según gravedad son:

RUTA 5		Victimas			
Tramo	Muertos	Graves	Menos graves	Leves	
TOTAL	23	58	46	373	
LAMPA	13,8	34,8	27,6	223,8	
BUSES	1,6	4,1	3,2	26,2	
Lesionados evitados	0,1	0,2	0,1	1,0	

TABLA 35: LESIONADOS TOTALES Y EVITADOS EN RUTA 5 NORTE, DEBIDO AL PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Bajo la misma lógica anterior, se considera la Autopista del Sol hasta el peaje de Malloco y Camino a Melipilla hasta Malloco para estimar los accidentes que se evitan en el tramo de Alameda a Malloco.

Para el caso de la Autopista del Sol, no se tiene proporción de accidentes hasta el peaje considerado. Por esto, se supondrá que los accidentes guardan relación con el flujo vehicular.

En el tramo de la autopista hasta el peaje de Malloco se produce el 42,7% del flujo vehicular total de la carretera [25]. Además, a partir de información de Carabineros [26], se estima que la participación de buses en los accidentes es del 8,3% (ver anexo III para cálculos). Entonces los tipos de accidentes que se evitarían en esta ruta al año 2017 son:

RUTA 78		Tipos de accidentes con lesionados				
Tramo	Atropello	Caída	Volcadura	Colisión	Choque	Otros
TOTAL	8	17	21	136	29	33
MALLOCO	3,42	7,26	8,97	58,09	12,39	14,09
BUSES	0,28	0,60	0,75	4,83	1,03	1,17
Acc evitados	0,011	0,024	0,030	0,193	0,041	0,047

TABLA 36: ACCIDENTES EVITADOS EN LA AUTOPISTA DEL SOL, DEBIDO AL PROYECTO EN EL TRAMO ALAMEDA - MALLOCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Para el caso de Camino a Melipilla, como no es una ruta concesionada, no se tiene información clara de los tramos que sea fidedigna. Si se analiza la información de los documentos de la CONASET (Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito) del año 2014 respecto a los accidentes y lesionados en Camino a Melipilla, se observa que hay solo 2 lesionados leves, y menos de 30 accidentes en el año [27] [28]. Estos datos son elaborados a partir de las bases de datos de Carabineros, no así los accidentes de las autopistas concesionadas, en donde las concesionarias llevan un registro más detallado de los accidentes que ocurren en las vías. Por lo tanto, para efectos del trabajo, se considerará una tasa de accidentabilidad y de lesionados igual a la que tiene la Autopista del Sol, debido a que pertenecen al mismo tramo, y a que ésta tiene un tasa de accidentabilidad considerada de media a baja, por lo que no se sobrestimarán los beneficios.

Bajo estas suposiciones los accidentes evitados son:

MALLOCO		Tipos de accidentes con lesionados				
Tramo	Atropello	Caida	Volcadura	Colision	Choque	Otros
TOTAL	16	34	42	272	58	66
MALLOCO	6,83	14,52	17,94	116,17	24,77	28,19
BUSES	0,57	1,21	1,49	9,67	2,06	2,35
Acc evitados	0,02	0,05	0,06	0,39	0,08	0,09

TABLA 37: ACCIDENTES EVITADOS EN AUTOPISTA DEL SOL Y CAMINO A MELIPILLA, DEBIDO AL PROYECTO EN EL TRAMO ALAMEDA - MALLOCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Y los lesionados según gravedad que se evitan son los que se muestran en la tabla siguiente:

MALLOCO		Víctimas			
Tramo	Muertos	Graves	Menos graves	Leves	
TOTAL	26	142	150	578	
MALLOCO	11,10	60,65	64,07	246,86	
BUSES	0,92	5,05	5,33	20,54	
Acc evitados	0,04	0,20	0,21	0,82	

TABLA 38: LESIONADOS EVITADOS EN AUTOPISTA DEL SOL Y CAMINO A MELIPILLA, DEBIDO AL PROYECTO EN EL TRAMO ALAMEDA - MALLOCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Luego, es necesario proyectar la accidentabilidad durante el periodo de evaluación social de 30 años. Según la demanda inicial que absorbe el proyecto, disminuye la flota de buses en un 4%, por lo que relacionando el crecimiento de la demanda con la disminución de flota de buses, ésta irá disminuyendo hasta que la demanda absorbida por el tren se estanque (ver anexo IV).

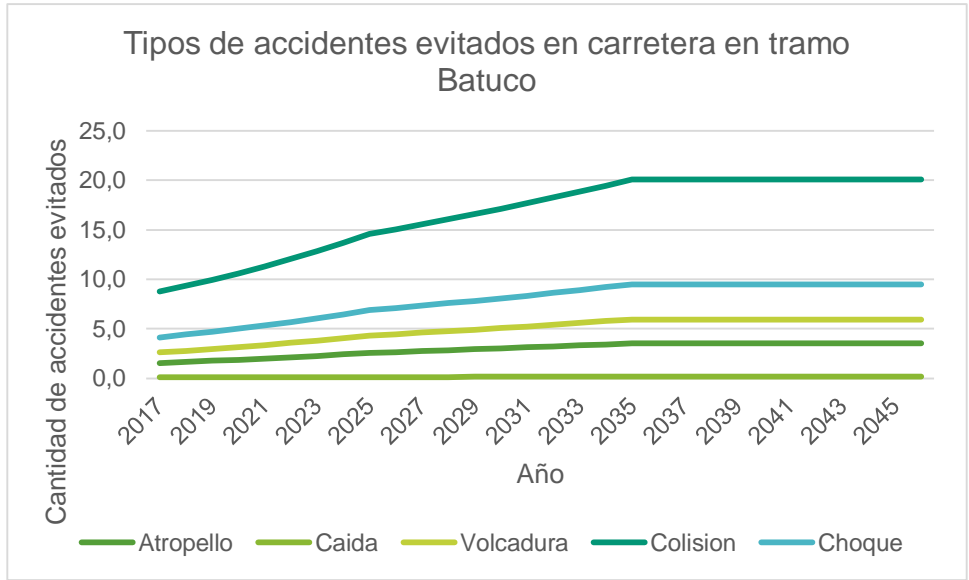


ILUSTRACIÓN 12: ACCIDENTES EVITADOS POR TIPO, EN LA RUTA 5 NORTE, DEBIDO AL PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

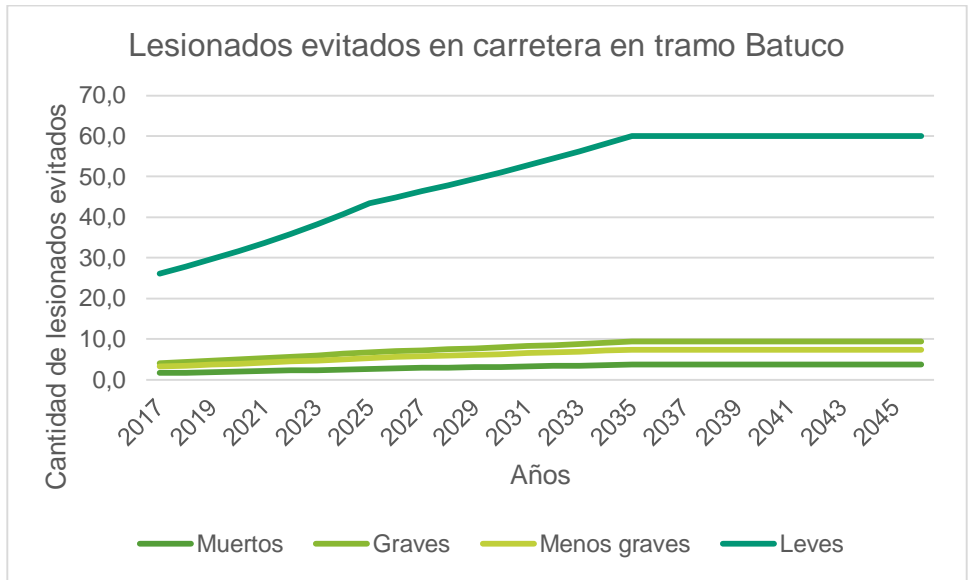


ILUSTRACIÓN 13: LESIONADOS EVITADOS EN RUTA 5 NORTE, DEBIDO AL PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

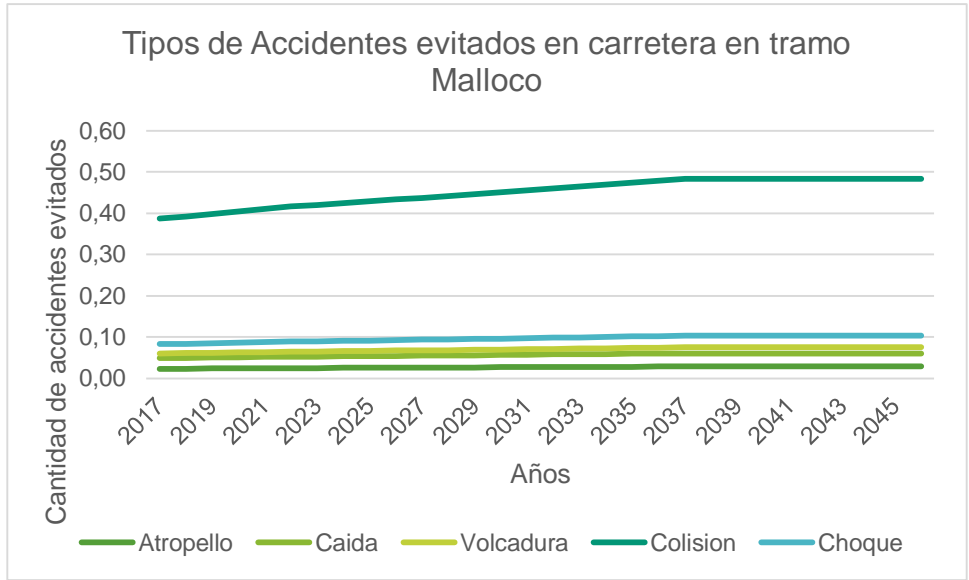


ILUSTRACIÓN 14: ACCIDENTES EVITADOS POR TIPO EN TRAMO ALAMEDA – MALLOCO, DEBIDO AL PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

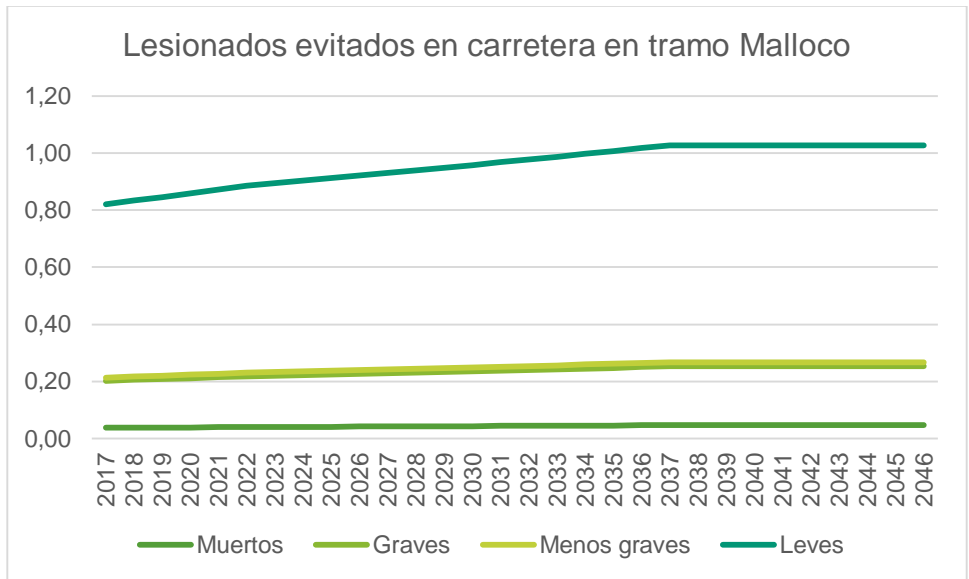


ILUSTRACIÓN 15: LESIONADOS EVITADOS EN TRAMO ALAMEDA – MALLOCO, DEBIDO AL PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La cantidad de accidentes y lesionados que se evitan en carretera en el tramo de Mapocho – Batuco tiene un mayor crecimiento debido a que la demanda que absorbe el proyecto es mayor.

6.1.3. 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 39: 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 40: 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 41: COSTOS SOCIALES UNITARIOS FERROVIARIOS (UF/VEH). FUENTE: MDS.

A partir de estos costos sociales y los accidentes estimados de los trenes y los evitados en carretera por el proyecto, se calculan los costos externos por accidentabilidad.

6.2. Cambio Climático

Para calcular el beneficio que genera el proyecto por concepto de ahorro de emisiones de CO₂, se tienen 2 procesos:

1. Emisiones indirectas: Calcular las emisiones indirectas del proyecto de trenes.

2. Emisiones directas: Calcular las emisiones de CO₂ que dejarían de emitir los buses si se realiza el proyecto.

6.2.1. Emisiones Indirectas de CO₂

Para el primer caso, cabe recordar que se les llama emisiones indirectas a las emisiones de CO₂ que generan los trenes debido a que éstos son eléctricos, por lo que se considera las emisiones que se provocan en la generación de la energía eléctrica.

Entonces, el primer paso es saber cuánta energía eléctrica utilizaría el proyecto en cada año del período considerado para la evaluación social.

De la evaluación social entregada por EFE, se tiene el total de kilómetros recorridos por los trenes anualmente y las distancias de los tramos. Con esto se puede calcular el número de viajes que realizan los trenes:

$$n^{\circ} \text{ de viajes anuales} = \frac{\text{km recorridos anuales}}{\text{distancia de tramo}} \quad (1)$$

Además, se tiene que la velocidad promedio a la que circulan los trenes es de 70 [km/h]². Entonces, se puede obtener el tiempo promedio de recorrido de un tramo:

$$\text{Tiempo prom recorrido de tramo} = \frac{\text{distancia de tramo}}{\text{velocidad promedio tren}} \quad (2)$$

Así, con (1) y (2) se puede obtener el tiempo en funcionamiento de los trenes en unidades de horas:

$$\text{Tiempo en funcionamiento de trenes} = n^{\circ} \text{ de viajes anuales} * \text{Tiempo prom recorrido de tramo} \quad (3)$$

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

$$\text{Energía} = \text{Potencia} * \text{Tiempo} \quad (4)$$

Entonces, con los datos obtenidos de (3) y con la potencia se puede obtener la energía utilizada por los trenes anualmente en unidades de [kWh].

El siguiente paso es calcular las emisiones que se generan en la producción de ésta. 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). Se puede

² Fuente: Informe Final EFE, Modelación y Evaluación Batuco - Malloco 2012

observar en el siguiente gráfico que el factor de emisión disminuye en el periodo de evaluación:

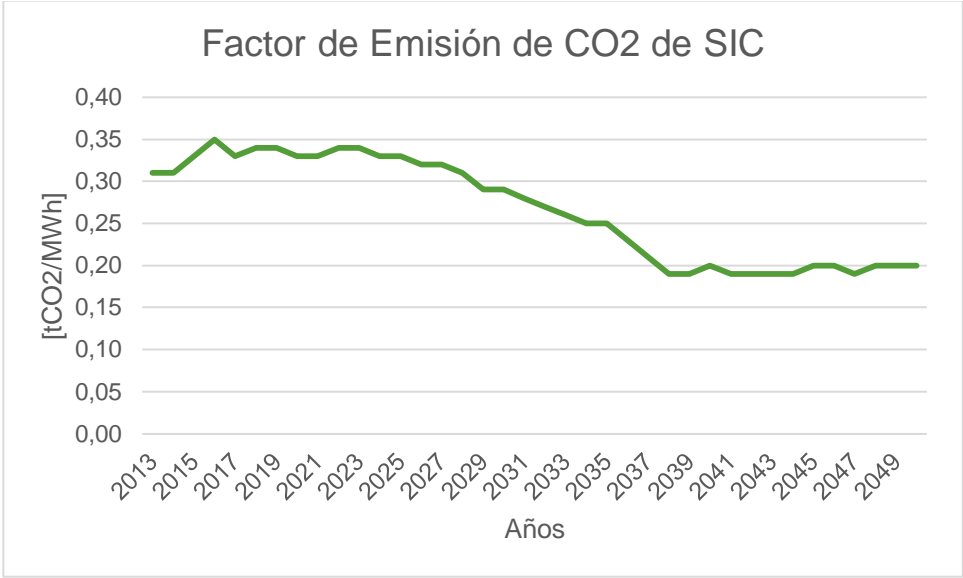


ILUSTRACIÓN 16: PROYECCIÓN DE FACTOR DE EMISIÓN CO2 DEL SIC. FUENTE: CENTRO DE ENERGÍA, UNIVERSIDAD DE CHILE.

Entonces, convirtiendo la energía anual a las unidades correspondientes de MWh y multiplicándola por los factores de emisiones correspondientes, se obtienen las toneladas de CO2 que produce el proyecto:

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

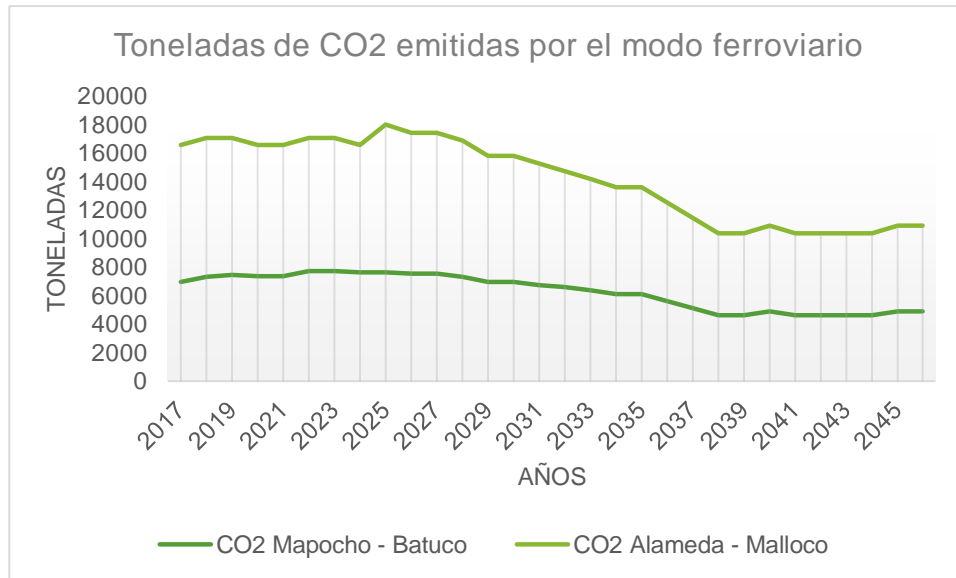


ILUSTRACIÓN 17: EMISIONES DE CO2 DEL MODO FERROVIARIO EN PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

A pesar de que el modo ferroviario es cada vez más exigido en el periodo de evaluación, las emisiones de CO2 disminuyen debido a la matriz energética más limpia.

6.2.2. Cálculo de Emisiones Directas de CO2

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 calcular las emisiones que dejarían de emitir los buses, debido a la flota de estos mismos que sale de funcionamiento por la realización del proyecto, hay que realizar una estimación aproximada de los litros de combustible que se dejarían de consumir con el proyecto en el modo vial de buses, y por consiguiente las emisiones de CO2 que se ahorrarían.

Para esto, primero se estima la cantidad de servicios que dejarían de prestar los buses.

$$\begin{aligned} & \text{Cantidad de servicios de buses anuales} \\ &= \frac{\text{demanda anual de pasajeros del proyecto}}{\text{pax promedio por bus}} \end{aligned}$$

Además, se sabe que de esta cantidad de servicios anuales, solo un 4% dejará de realizarse debido al proyecto. Multiplicando esta cantidad de servicios anuales por

la distancia de los tramos se obtiene el total de kilómetros anuales recorridos por los buses.

Ahora, para saber la cantidad de litros de combustible que dejarían de utilizar los buses, hay que saber la eficiencia de éstos. Se sabe que la eficiencia varía entre 4 y 7 km por litro dependiendo del recorrido. Para este caso, se considerará una eficiencia de 5 [km/l]. Entonces multiplicando la eficiencia de los buses por el total de kilómetros anuales que dejan de recorrer los buses, se tiene la cantidad de litros diésel.

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). Entonces, suponiendo que este factor de emisión no varía en el periodo de evaluación social, se observan las siguientes emisiones (ver tablas en anexo VII):

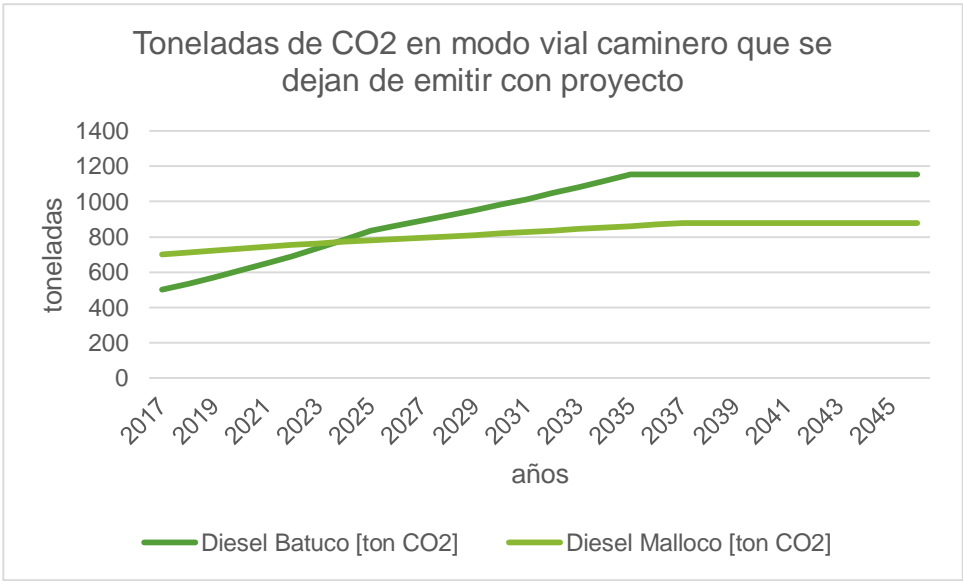


ILUSTRACIÓN 18: TONELADAS DE CO2 QUE DEJAN DE EMITIR BUSES, CON PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

6.2.3. Precios Sociales de Cambio Climático

Según el Sistema Nacional de Inversiones (SNI), el precio social al año 2015 de la tonelada de carbono equivalente es de \$2.213 CLP, lo que equivale a 0,089 UF, si la UF vale \$25.000 CLP.

6.3. 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.

6.3.1. 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, no transitan sobre tierra, por lo que tampoco levantan material particulado.

6.3.2. Contaminación atmosférica por el modo vial caminero

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

6.3.2.1. Emisiones de Contaminantes

Primero hay que saber la cantidad de contaminantes que dejarían de emitir los buses, debido a la realización del proyecto. Los contaminantes que se consideran son el MP2.5, NOx, SOx y HC.

El MMA [9] (ver anexo X) entrega los factores de emisión según norma y capacidad de los buses en unidades de gr/km recorrido de los contaminantes NOx, MP2.5 y SOx. La mínima capacidad de los buses considerada es de 42 pasajeros (B2), por lo que se tomarán los valores de estos buses. Además, hay distintos valores según norma (Euro I, Euro II, y Euro III). Para efectos de este trabajo, se considerará la norma más eficiente, es decir, Euro III, debido a que en el periodo de evaluación solo pueden ir mejorando los buses, por lo que no vale la pena considerar buses tan antiguos. Por otro lado, al considerar la norma de buses Euro III, se calcula una cota inferior de contaminación atmosférica que deja de producirse.

Norma	Capacidad	NOX	MP 2,5	CO2
Euro 1	B2	10,7	0,04	935
Euro 2	B2	7,6	0,24	1537
Euro 3	B2	5,4	0,17	1537

TABLA 42: FACTORES DE EMISIÓN SEGÚN NORMA Y CAPACIDAD DE BUS B2 (GR/KM). FUENTE: MMA.

Para las emisiones de HC, se utiliza la fórmula del mismo documento [9] para estos buses:

$$E = \frac{(9,65 * 10^{-2} - 2,38 * V + 1,93 * 10^{-6} * V^2)}{(1 + 1,03 * 10^{-1} * V - 7,24 * 10^{-5} * V^2)}$$

Donde E es la emisiones de HC, y V es la velocidad promedio de circulación de los buses. Para el caso, se considerará una velocidad promedio de 70 km/h, por lo que el factor de emisión es de 0,08 gr/km.

Ahora, como se sabe la cantidad de kilómetros anuales que recorren los buses, al multiplicarla por los factores de emisión correspondientes, se obtiene las toneladas de emisión de los distintos contaminantes.

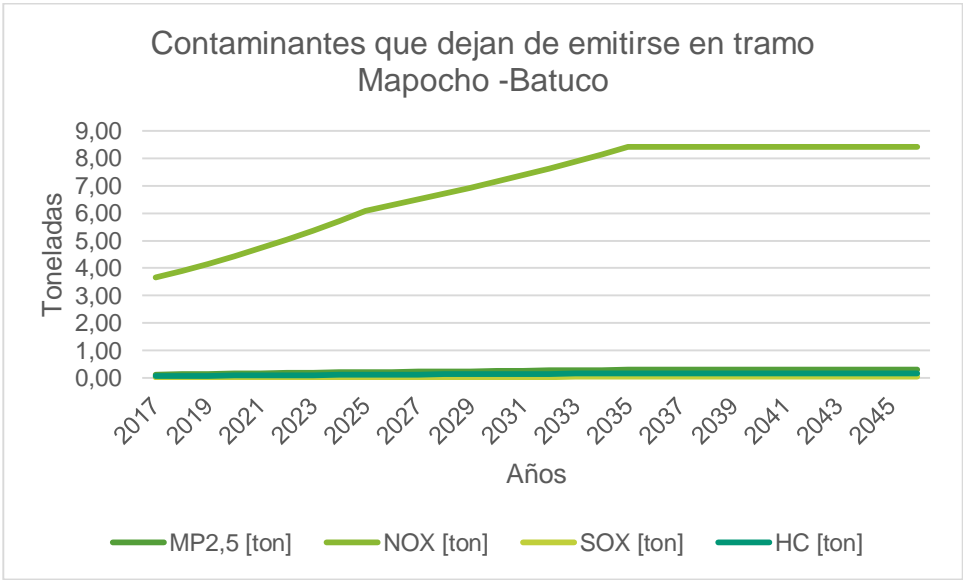


ILUSTRACIÓN 19: CONTAMINANTES QUE DEJAN DE EMITIRSE EN TRAMO MAPOCHO – BATUCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

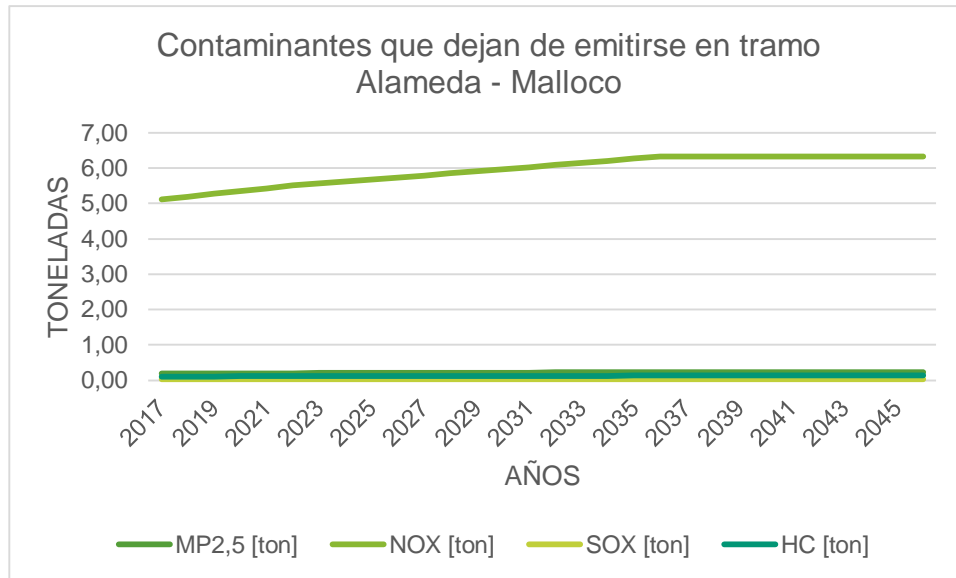


ILUSTRACIÓN 20: CONTAMINANTES QUE DEJAN DE EMITIRSE EN TRAMO ALAMEDA – MALLOCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se observa que las emisiones de NOx son por lejos las que más se producen, debido al alto factor de emisión de este contaminante respecto a los demás.

6.3.2.2. Nivel de Concentraciones de Emisiones

Dadas las emisiones estimadas, se procede a calcular las concentraciones que generan estas en el área de influencia.

A pesar de que el proyecto es interurbano, todas las comunas involucradas pertenecen a la Región Metropolitana (RM), por lo que se considerarán factores de concentración correspondientes a ésta [29]. Estos factores son promedios para la región, y se utilizarán debido a la complejidad que podría alcanzar hacer un cálculo de concentraciones si se utilizan valores más exactos.

Ciudad	Parámetro	Factor de Concentración [(micro g/m3)/ton]					
		PM 10	PM 2,5	NOX	HC	SOX	NH3
Santiago	PM 10	0,13	-	-	-	-	-
	PM 2,5	-	0,77	-	-	-	-
	NOX	-	0,61	0	0	0	0
	HC	-	0,14	0,81	1,66	42,98	0,77
	SOX	-	0,11	-	-	-	-
	NH3	-	0	-	-	-	-

TABLA 43: FACTORES DE EMISIÓN - CONCENTRACIÓN PARA LA CIUDAD DE SANTIAGO. FUENTE: SECTRA.

Entonces, multiplicando las emisiones calculadas anteriormente por los factores de concentración, se obtienen los siguientes resultados respecto al MP2,5 (más detalles en el anexo XII):

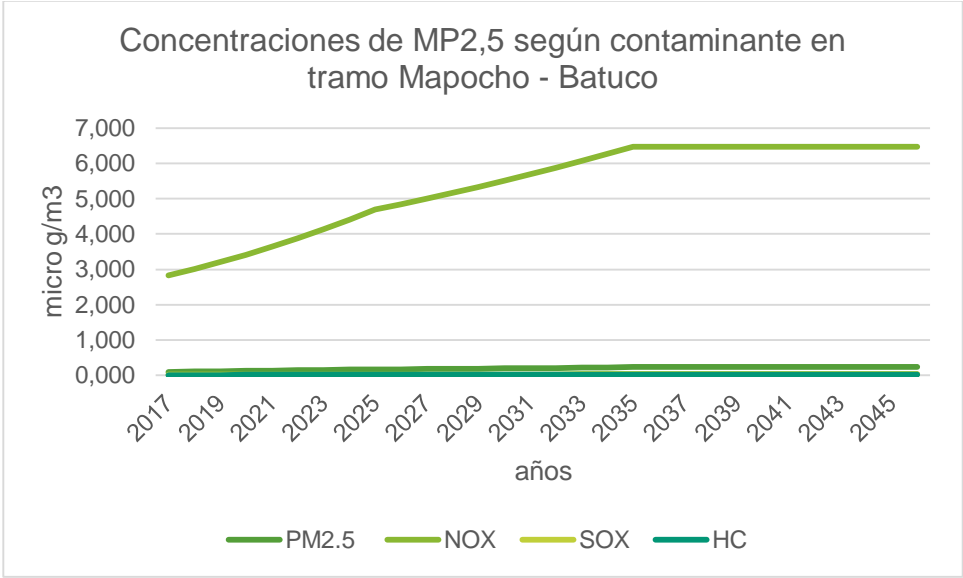


ILUSTRACIÓN 21: CONCENTRACIONES DE MP2,5 QUE SE EVITAN POR PROYECTO EN TRAMO MAPOCHO – BATUCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

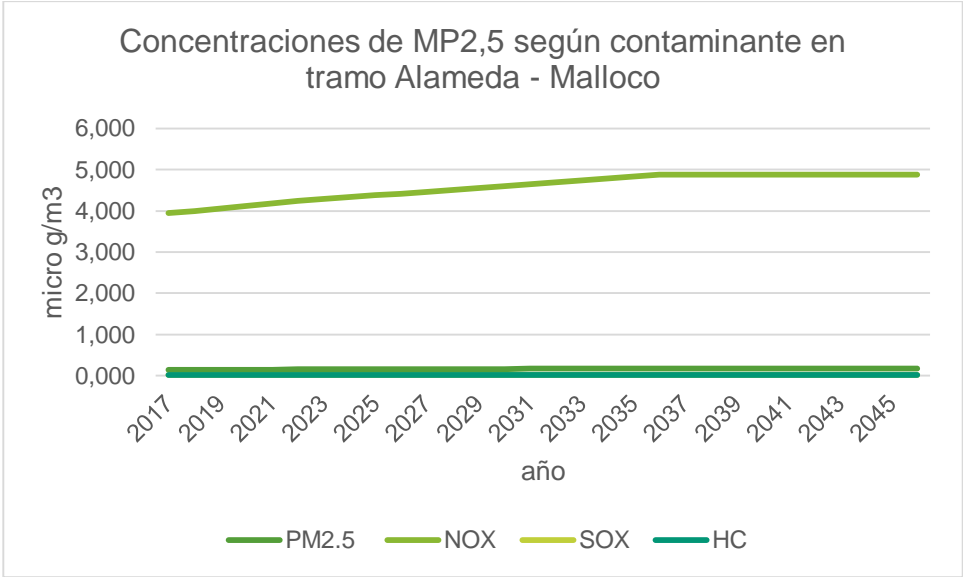


ILUSTRACIÓN 22: CONCENTRACIONES DE MP2,5 QUE SE EVITAN POR PROYECTO EN TRAMO ALAMEDA – MALLOCO. FUENTE. ELABORACIÓN PROPIA.

Al igual que con las emisiones, el NOx es el contaminante que mayormente aporta a las concentraciones de MP2,5.

Respecto a las concentraciones de ozono en los tramos, se observa un comportamiento acorde a la demanda:

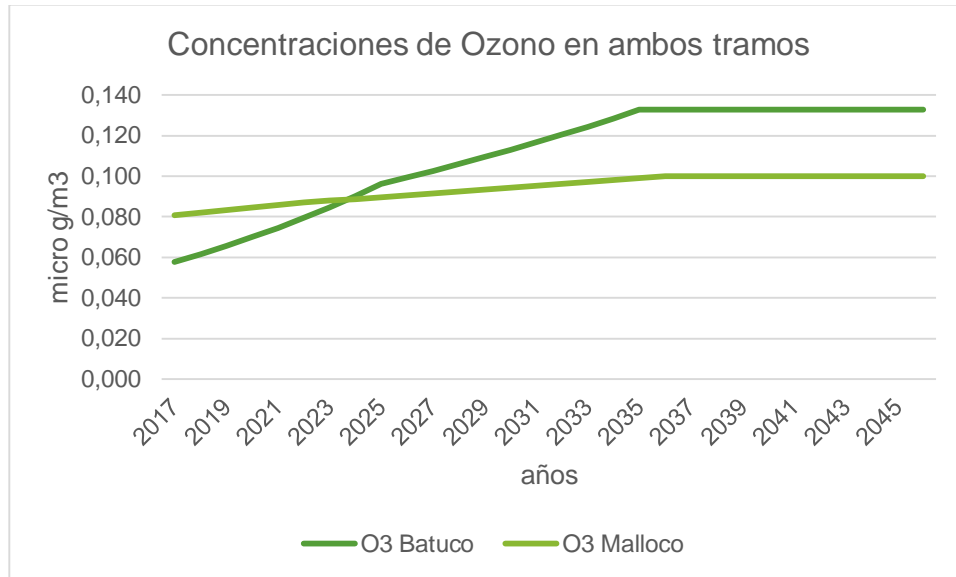


ILUSTRACIÓN 23: CONCENTRACIONES DE O3 QUE SE EVITAN POR PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

6.3.2.3. Funciones de Dosis – Respuesta

Ahora la pregunta es cómo estas concentraciones afectan a la salud. Primero que nada, hay que entender la manera en que se calculan estos efectos:

En Chile, existen tasas de incidencia base de enfermedades por rango etario que se calculan para cada región. La menor o mayor concentración de contaminantes, afecta esta tasa de incidencia:

$$\Delta y = y_0(e^{\beta \Delta x} - 1)$$

Donde:

- Δy : Variación en tasa de incidencia
- y_0 : Tasa de incidencia base
- β : Factor debido a contaminante
- Δx : Cambio de concentración

Entonces, lo que interesa es saber cómo varía la tasa de incidencia para saber cómo afecta el cambio de concentración de contaminantes que habría debido al proyecto.

EL MP2.5 y el O3 afectan de distinta manera, por lo que es necesario analizar sus efectos de manera separada. En el caso del MP 2, y O3 respectivamente, las

repercusiones que tiene sobre la salud y los betas que se utilizan para calcular las variaciones en las tasas de incidencia, son [29]:

Efecto	Edad Mínima	Edad Máxima	Beta	Incremento por 10ug/M3
Mortalidad LP Todas las causas	30	99	0,0094	9,80%
Mortalidad no Accidental	0	99	0,0013	1,30%
Enfermedad Pulmonar Crónica	65	99	0,0011	1,10%
Enfermedad Pulmonar Crónica	18	64	0,0021	2,10%
Neumonía	65	99	0,0042	4,30%
Todas Cardiovasculares (Menos Infartos al Miocardio)	65	99	0,001	1,00%
Disritmia	65	99	0,0017	1,70%
Falla Congénita Cardíaca⁶	65	99	0,0038	3,80%
Enfermedad Isquémica Cardíaca	65	99	0,0013	1,30%
Asma	0	64	0,0039	4,01%
Asma	0	17	0,0165	18,00%
Bronquitis	8	12	0,0379	46,07%
Días de Actividad Restringida Menores	18	64	0,0074	7,70%
Work Loss Days	18	64	0,0046	4,70%
Work Loss Days	18	64	0,0046	4,70%
Días de Escuela Perdidos, Relacionado con Enfermedad	9	10	0,0055	5,70%

TABLA 44: FUNCIONES DE CONCENTRACIÓN RESPUESTA DE SALUD RECOMENDADAS PARA MATERIAL PARTICULADO. FUENTE: SECTRA.

Efecto	Edad Mínima	Edad Máxima	Beta
Mortalidad no Accidental	0	99	0,0015
Asma	0	99	0,0025
Enfermedad Pulmonar Crónica	0	99	0,003
Neumonía	0	99	0,002
Disritmia	0	99	0,0017
Asma	0	99	0,0009
Días de Actividad Restringida Menores	18	64	0,0022
Días de Escuela Perdidos, Relacionado con Enfermedad	9	10	0,024398

TABLA 45: FUNCIONES DE CONCENTRACIÓN RESPUESTA DE SALUD RECOMENDADAS PARA OZONO. FUENTE: SECTRA.

Y las tasas de incidencia en la RM son [30]:

Efecto	Edad	Tasa incidencia base
Enfermedad Pulmonar Crónica	18-64	28
	>65	418
Neumonía	>65	1210
Todas Cardiovasculares (menos infartos al miocardio)	>65	3355
Arritmia	>65	996
Falla Congénita Cardíaca	>65	1339
Enfermedad Isquémica Cardíaca	>65	674
Asma	0-64	24
Asma	0-17	6,61
Mortalidad no Accidental	0-17	70,2
	18-64	73,6
	>65	74,5

TABLA 46: TASAS DE INCIDENCIA BASE EN LA RM. FUENTE: MINISTERIO DE SALUD.

Entonces, con las variaciones de concentración y los datos mostrados, se pueden estimar las variaciones anuales de las tasas de incidencia. A continuación, las variaciones al último año del periodo de evaluación de las tasas (que corresponden a las máximas variaciones), debido al PM2.5 y O3 respectivamente:

Efecto	Edad	Variación tasa de incidencia PM2.5	
		Mapocho - Batuco	Alameda - Malloco
Enfermedad Pulmonar Crónica	18-64	-0,40%	-0,30%
	>65	-3,11%	-2,34%
Neumonía	>65	-34,74%	-26,10%
Todas Cardiovasculares (menos infartos al miocardio)	>65	-22,69%	-17,09%
Arritmia	>65	-11,48%	-8,64%
Falla Congénita Cardíaca	>65	-34,73%	-26,10%
Enfermedad Isquémica Cardíaca	>65	-5,93%	-4,47%
Asma	0-64	-0,64%	-0,48%
Asma	0-17	-0,78%	-0,58%
Mortalidad no Accidental	0-17	-0,62%	-0,47%
	18-64	-0,65%	-0,49%
	>65	-0,66%	-0,49%

TABLA 47: VARIACIONES MÁXIMAS DE LAS TASAS DE INCIDENCIA DEBIDO AL PM2,5. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

**Variación tasa de
incidencia O3**

Efecto	Edad Mínima	Edad Máxima	Mapocho - Batuco	Alameda - Malloco
Mortalidad no Accidental	0	99	-0,015%	-0,011%
Asma (AH)	0	99	-0,007%	-0,005%
Enfermedad Pulmonar Crónica	0	99	-0,127%	-0,093%
Neumonía	0	99	-0,321%	-0,242%
Disritmia	0	99	-0,225%	-0,169%
Asma (ERV)	0	99	-0,002%	-0,002%

TABLA 48: VARIACIONES MÁXIMAS DE LAS TASAS DE INCIDENCIA DEBIDO AL O3. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Se observa que las tasas de incidencia no varían notoriamente debido a la disminución de concentración de ozono, pero sí lo hacen en algunos casos respecto al PM2.5. Se hacen notar la neumonía, las enfermedades cardiovasculares y las fallas congénitas cardíacas.

6.3.2.4. Valorización de efectos sobre la salud

Para valorizar el impacto de los cambios en las tasas de incidencia, hay que saber sobre cuántas personas impactarán las variaciones. Para tal propósito, se estima la cantidad de habitantes por rango etario en el área de influencia (ver tablas 29 y 30) en el periodo de evaluación.

El crecimiento poblacional ha ido disminuyendo en los últimos años, llegando a crecer en el último período un 0,84% [35]:

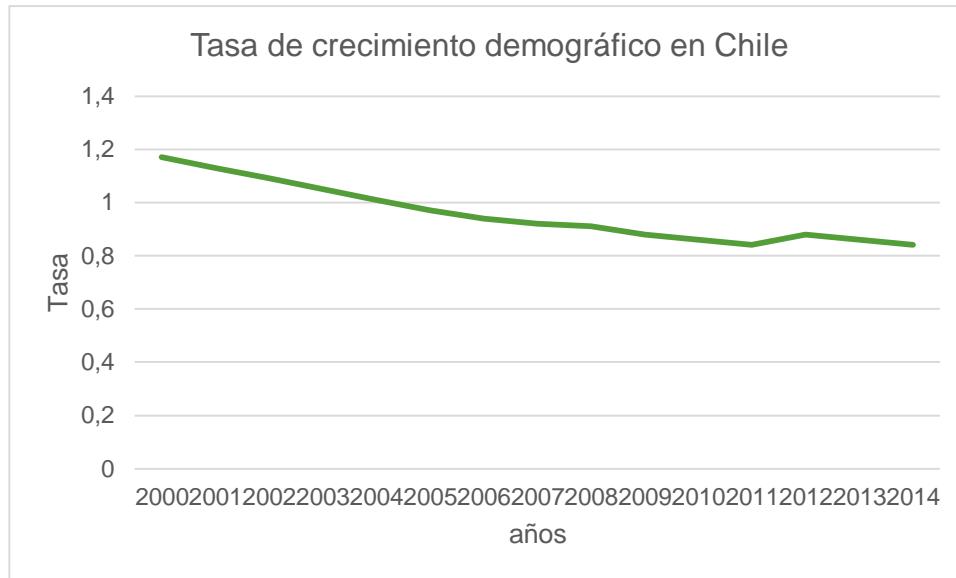


ILUSTRACIÓN 24: TASA DE CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO EN CHILE. FUENTE: CIA WORLD FACTBOOK, 2015.

Además, la distribución etaria también va cambiando y se espera que al año 2050 las personas de la tercera edad sean una parte importante de la población [30] respecto a cómo ha sido hasta el momento:

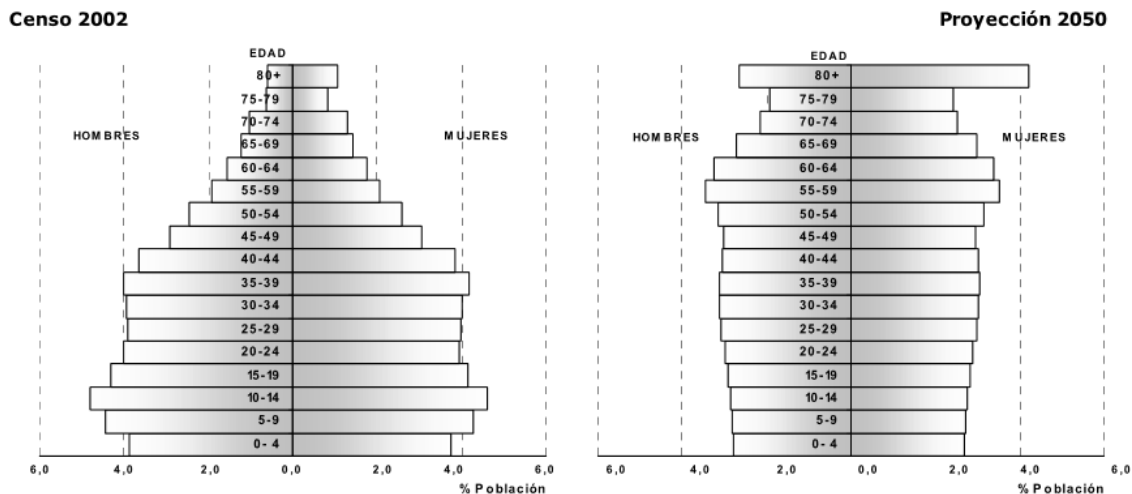


ILUSTRACIÓN 25: DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA POBLACIÓN POR SEXO, SEGÚN GRUPOS QUINQUENALES DE EDAD. CENSO 2002 Y ESTIMADA AL 2050. FUENTE: INE.

Entonces, con los datos del INE se puede hacer una estimación de cómo crecerá la población en el período de evaluación. A continuación, una muestra de cómo varía la población por rango etario cada 100.000 habitantes en la zona de influencia de ambos tramos del proyecto.

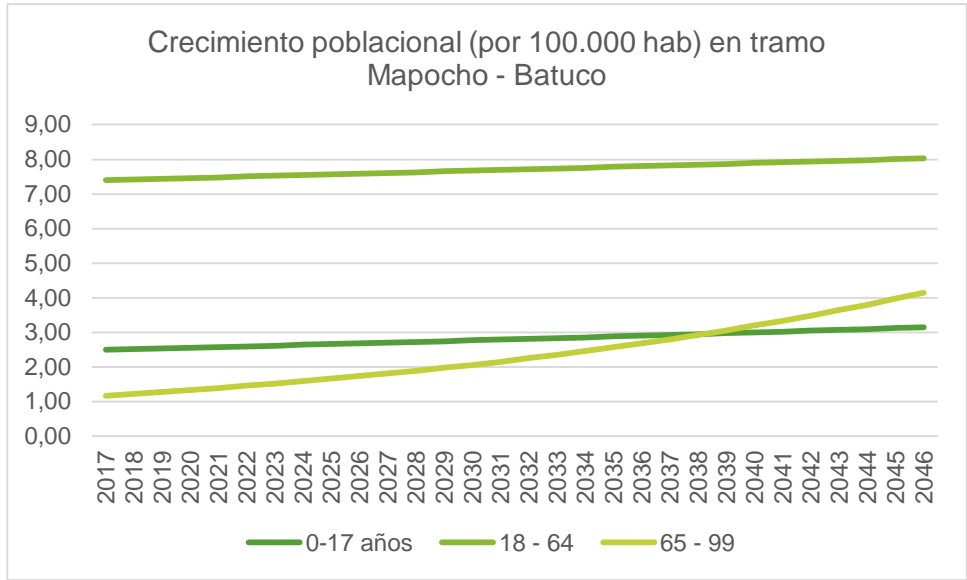


ILUSTRACIÓN 26: CRECIMIENTO POBLACIONAL (POR 100.000 HAB.) EN ÁREA DE INFLUENCIA DE TRAMO MAPOCHO – BATUCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

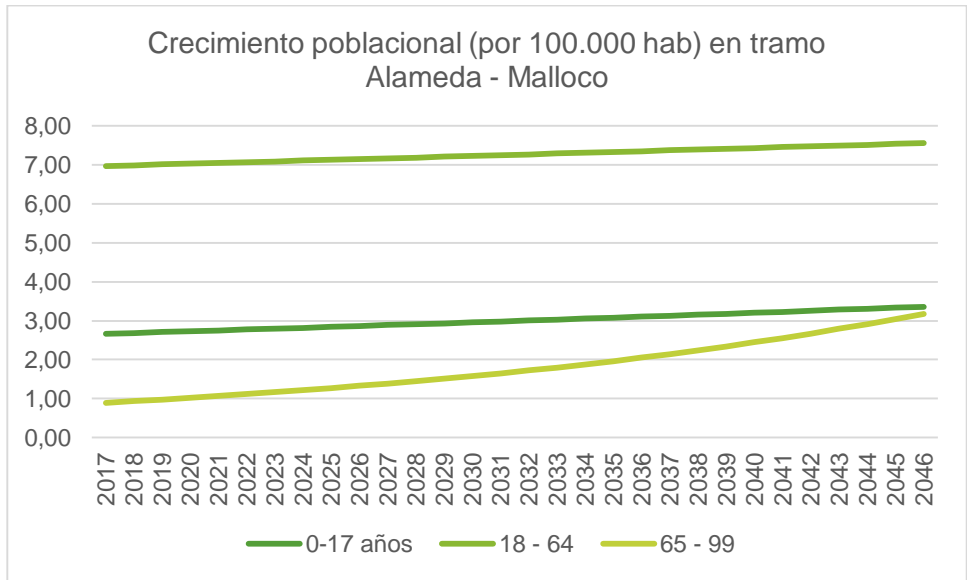


ILUSTRACIÓN 27: CRECIMIENTO POBLACIONAL (POR 100.000 HAB.) EN ÁREA DE INFLUENCIA DE ALAMEDA – MALLOCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Entonces, multiplicando las variaciones en las tasas de incidencia de cada enfermedad por la población correspondiente en cada año del periodo, se obtiene cómo varía la cantidad total de afectados.

6.3.3. Precios Sociales para Contaminación Atmosférica

Los valores unitarios de las enfermedades que entrega el Ministerio de Salud, son:

Tabla Valores Unitarios (UF)

Categoría General de Efecto	Endpoint	Edad mínima	Edad Maxima	Valor Unitario [UF]
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 ⁶	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 49: VALORES UNITARIOS EN UF DE ENFERMEDADES. FUENTE: MINISTERIO DE SALUD.

Es necesario recalcar que el valor de las mortalidades corresponde a la metodología CH, y que este valor varía según el rango etario de las personas afectadas. Como una gran parte de las personas que se ven afectadas son de la tercera edad, se hará una diferenciación de ese valor [31]. Entonces, en promedio y aproximadamente, los valores por rango etario son:

	Rango Etario	Capital Humano (MM\$)	Capital Humano (UF)
Mortalidad CP	0-17 años	60.000.000	2.400
	18-64	82.000.000	3.280
	>64	5.000.000	200

TABLA 50: VALORES DE LA VIDA POR CAPITAL HUMANO, SEPARADOS POR RANGO ETARIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En el apartado de resultados se pueden ver los beneficios por contaminación atmosférica.

7. Resultados

7.1. Accidentabilidad

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

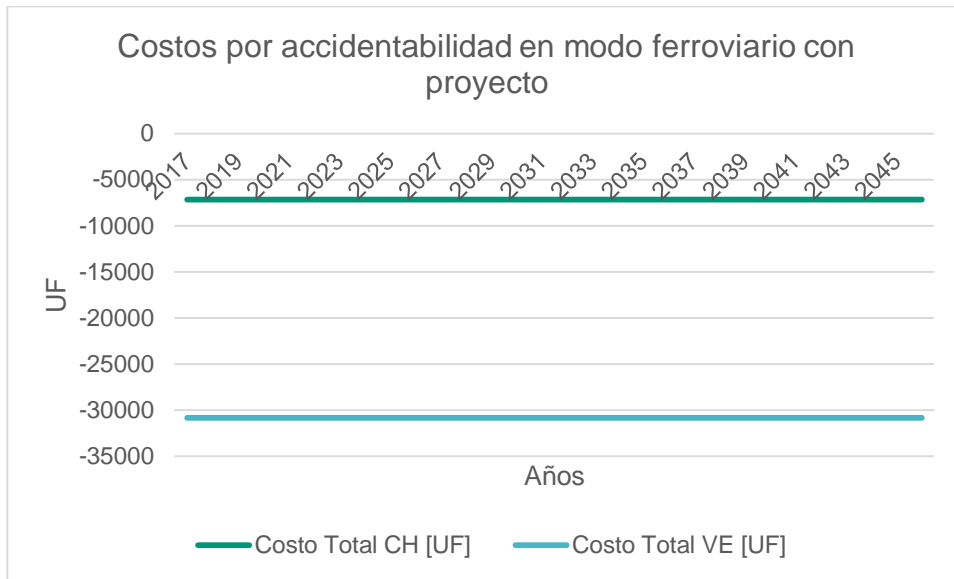


ILUSTRACIÓN 28: COSTO TOTAL DE ACCIDENTABILIDAD CONSIDERANDO AMBOS TRAMOS DEL PROYECTO, DIFERENCIADOS POR CH Y VSL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

7.1.1. Accidentabilidad en tramo Mapocho – Batuco

En el tramo de Mapocho a Batuco, los beneficios debido a la implementación del proyecto, en el modo vial caminero, son los que se muestran en la siguiente ilustración. Al igual que antes se diferencian los beneficios según la metodología a utilizar.

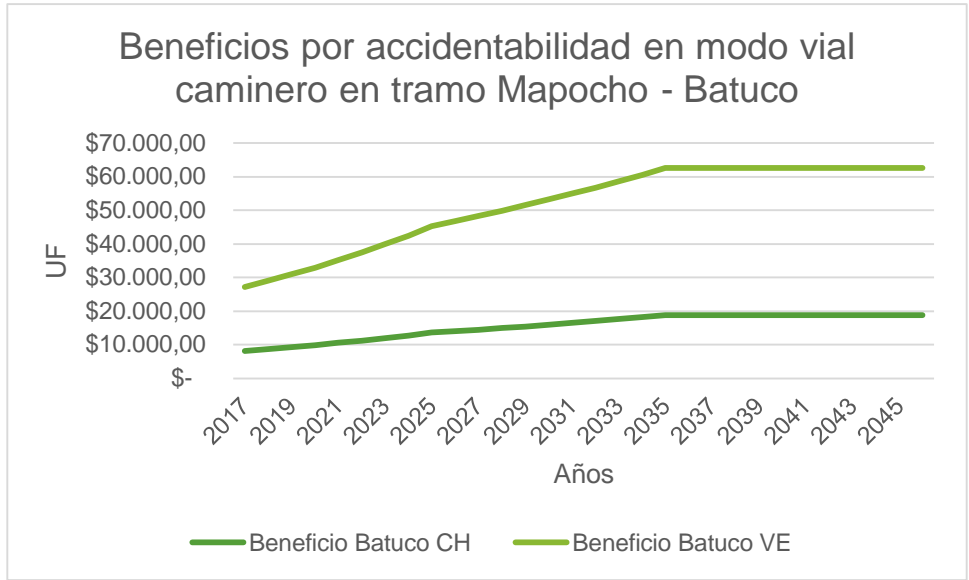


ILUSTRACIÓN 29: BENEFICIOS POR ACCIDENTABILIDAD EN MODO VIAL CAMINERO EN TRAMO MAPOCHO – BATUCO DIFERENCIADOS POR CH Y VSL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Si comparamos estos beneficios con los costos del tren en el tramo, se observa un beneficio creciente a través del periodo:

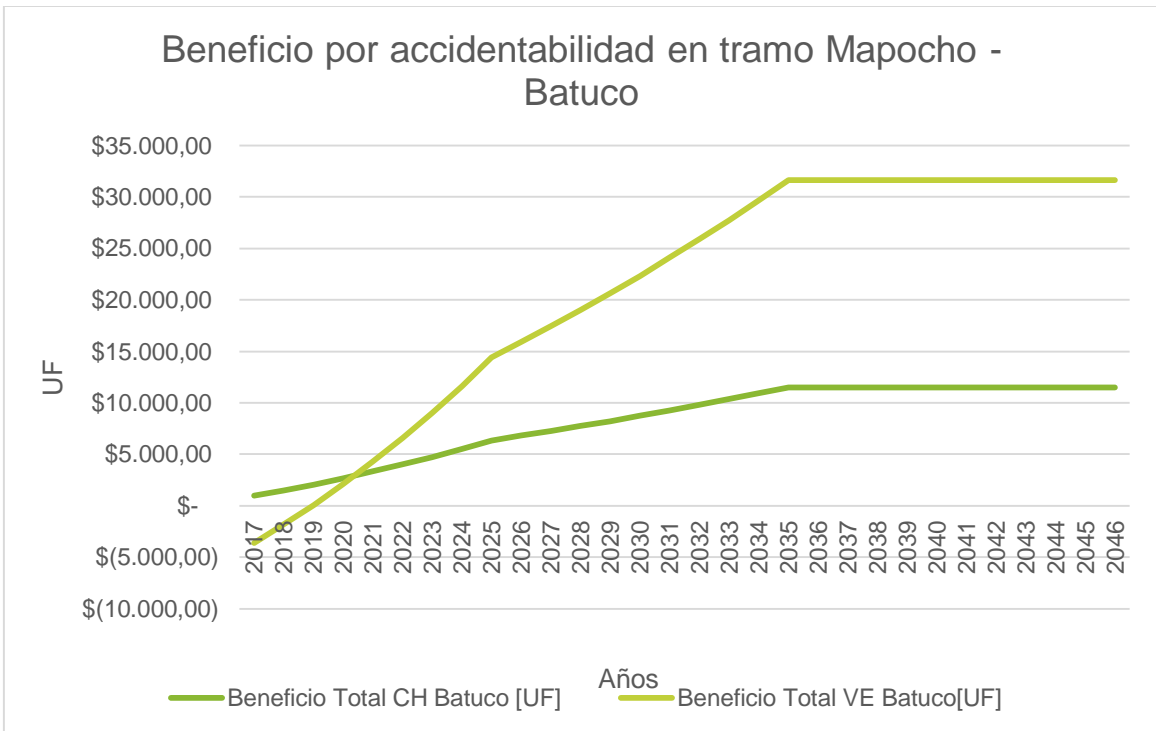


ILUSTRACIÓN 30: BENEFICIO POR ACCIDENTABILIDAD EN TRAMO MAPOCHO – BATUCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

7.1.2. Accidentabilidad en tramo Alameda - Malloco

En el tramo de Alameda a Malloco, los beneficios debido a la implementación del proyecto (más detalles en Anexo XIII), en el modo vial caminero, son los que se muestran en la siguiente ilustración:

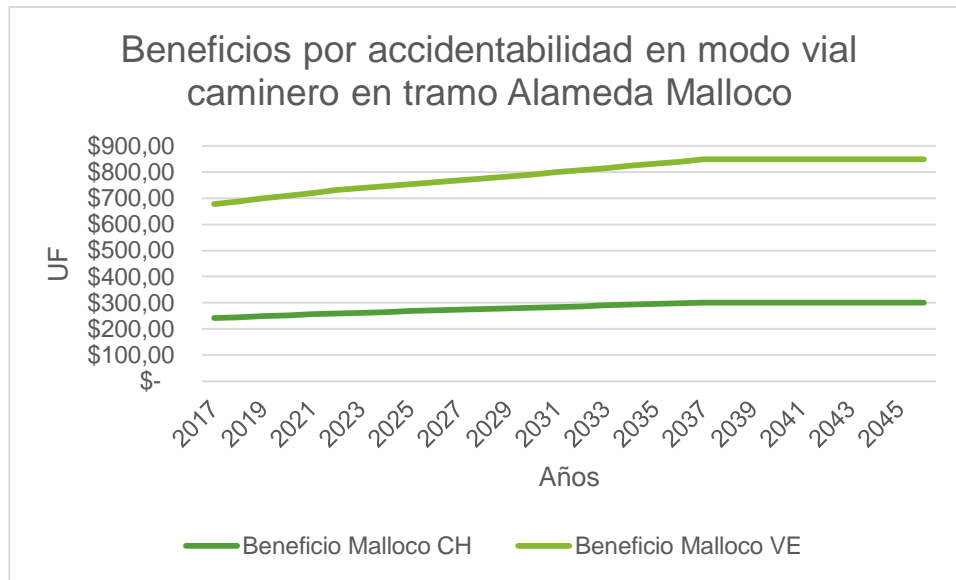


ILUSTRACIÓN 31: BENEFICIOS POR ACCIDENTABILIDAD EN MODO VIAL CAMINERO EN TRAMO ALAMEDA – MALLOCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Si comparamos estos beneficios con los costos del tren en el tramo, se observa un costo que no decrece a través del periodo. Esto ocurre porque los costos del modo ferroviario son muy altos en comparación a los beneficios que se generan en el modo caminero debido al proyecto. La flota de buses que dejaría de circular es marginal en cuanto a la congestión que produce se refiere, por lo que no tiene un efecto significativo en la accidentabilidad. Además, la demanda que se traslada al tren, crece en una proporción menor a lo que ocurre en el tramo de Batuco. Por esto, el costo total no disminuye.

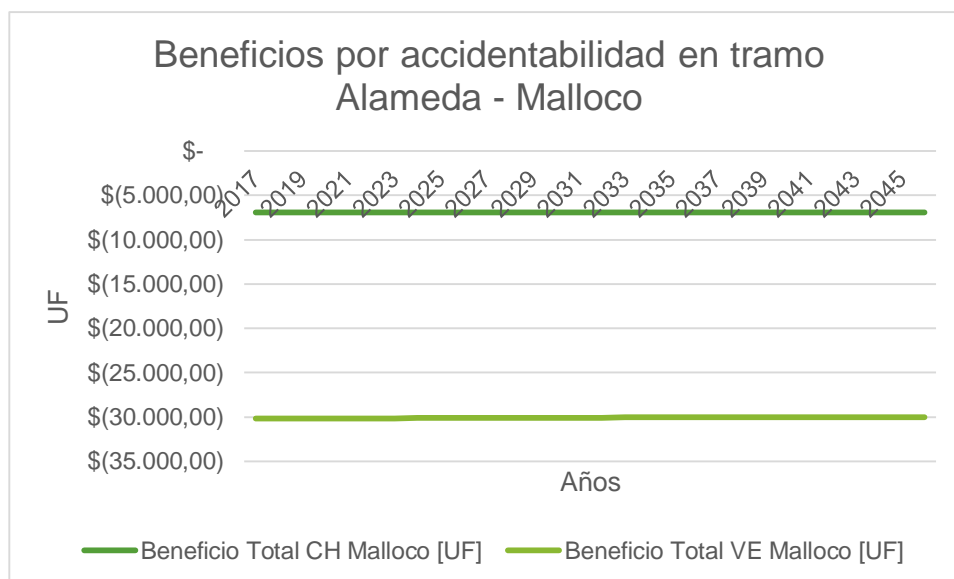


ILUSTRACIÓN 32: BENEFICIOS POR ACCIDENTABILIDAD EN TRAMO ALAMEDA – MALLOCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

7.1.3. Externalidad de Accidentabilidad en la Evaluación Social

Ahora la pregunta es si estos beneficios y costos respectivos influyen en la evaluación social del proyecto. Si analizamos por tramo, los VAN de accidentabilidad son los siguientes:

Mapocho - Batuco	VAN Acc [UF]	% respecto a VAN de tramo	VAN tramo con Acc
Metodo CH	\$ 75.740	2%	\$ 4.277.144
Metodo VE	\$ 174.065	4%	\$ 4.375.469

TABLA 51: VAN DE ACCIDENTABILIDAD EN TRAMO MAPOCHO – BATUCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Alameda - Malloco	VAN Acc [UF]	% respecto a VAN de tramo	VAN tramo con Acc
Metodo CH	-\$ 79.985	-1%	\$ 7.186.852
Metodo VE	-\$ 347.902	-5%	\$ 6.918.936

TABLA 52: VAN DE ACCIDENTABILIDAD EN TRAMO ALAMEDA – MALLOCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De esta forma, la accidentabilidad no es una externalidad que influya de manera significativa en la rentabilidad del proyecto, positiva ni negativamente. Por ejemplo, en el tramo de Malloco, es tan baja la accidentabilidad y la flota de buses que sale, que el proyecto ferroviario aumenta la accidentabilidad, a pesar de ser baja. Mientras que en Batuco, la ruta 5 norte es muy accidentada, y la flota de buses que

sale aumenta en mayor proporción, por lo que hay un efecto positivo, aunque despreciable también.

7.2. 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 obtienen los siguientes resultados (más detalles en Anexo XIV):

7.2.1. Cambio Climático en tramo Mapocho – Batuco

A continuación, una ilustración donde se pueden comparar los beneficios por flota de buses que se retira, costos que generaría el tren, y el costo total.

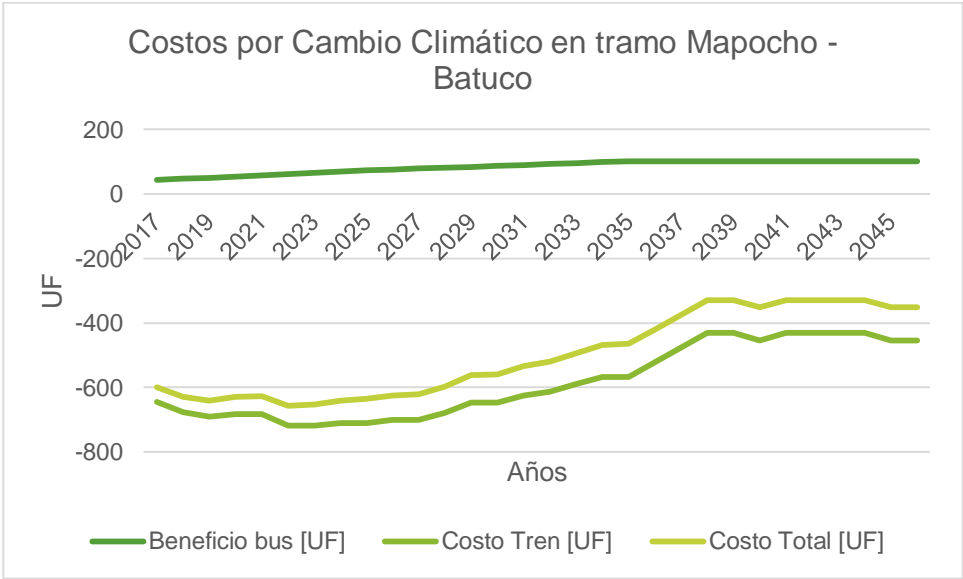


ILUSTRACIÓN 33: COSTOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN TRAMO MAPOCHO – BATUCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Se puede observar que el bajo beneficio por buses no alcanza a compensar los costos del tren, aun cuando éstos van disminuyendo en el tiempo.

7.2.2. Cambio Climático en tramo Alameda – Malloco

Asimismo ocurre en este caso, donde los beneficios por retiro de buses no son significativos:

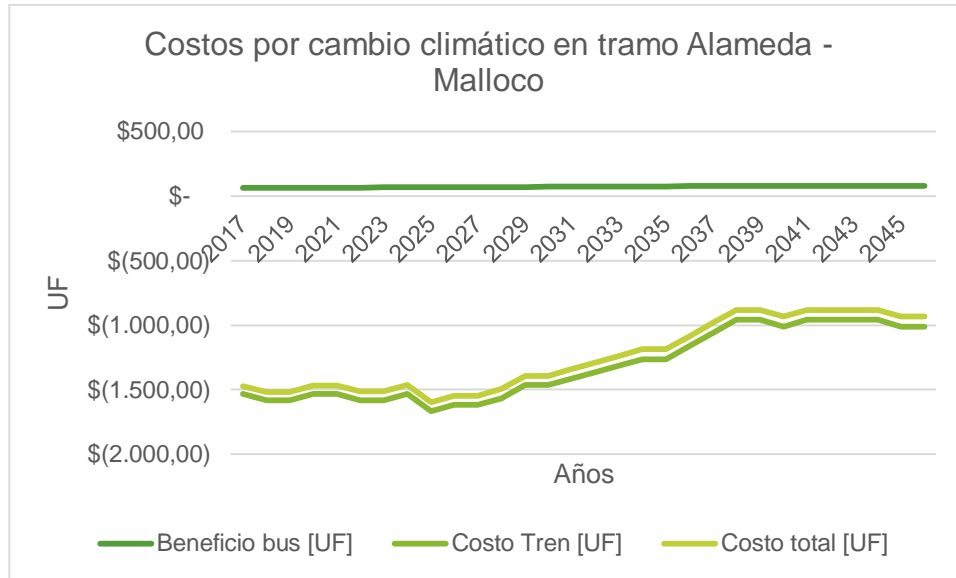


ILUSTRACIÓN 34: COSTOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN TRAMO ALAMEDA – MALLOCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

7.2.3. Externalidad de Cambio Climático en la Evaluación Social

Si se analiza por tramo, los VAN de cambio climático y lo que aportan al VAN del proyecto, son los siguientes:

Tramo	VAN Cambio Climático [UF]	% respecto a VAN de tramo	VAN tramo con Cambio Climático [UF]
Mapocho - Batuco	-6.407,99	-0,15%	4.194.996,52
Alameda - Malloco	-15.668,30	-0,21%	7.251.169,13

TABLA 53: VAN DE CAMBIO CLIMÁTICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

El VAN de cambio climático es menos del 1% del VAN del proyecto, por lo que es despreciable para efectos de la evaluación social.

7.3. Contaminación Atmosférica

A continuación los beneficios por reducción de contaminación atmosférica en ambos tramos, diferenciados por concentraciones de contaminantes (más detalles en Anexo XV):

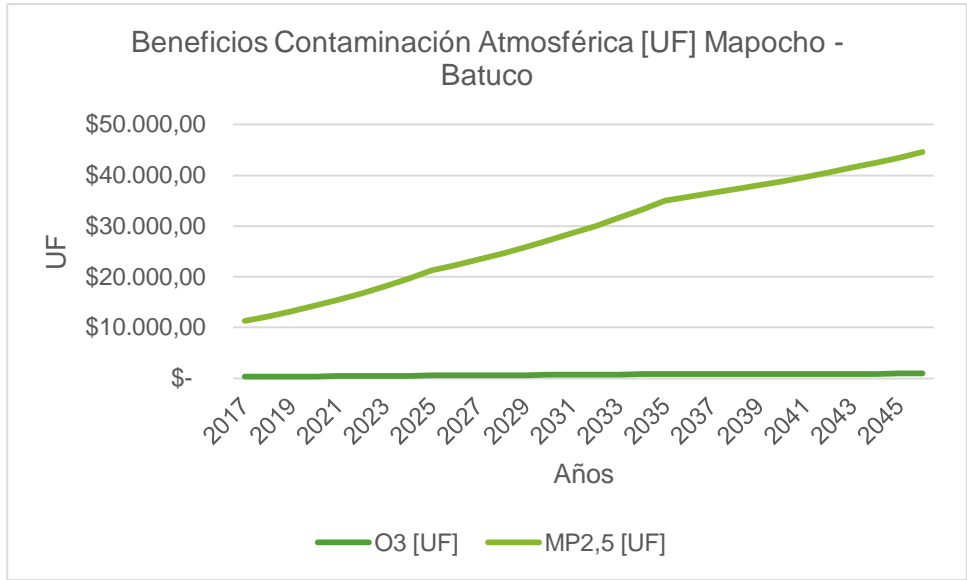


ILUSTRACIÓN 35: BENEFICIOS POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN TRAMO MAPOCHO – BATUCO.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

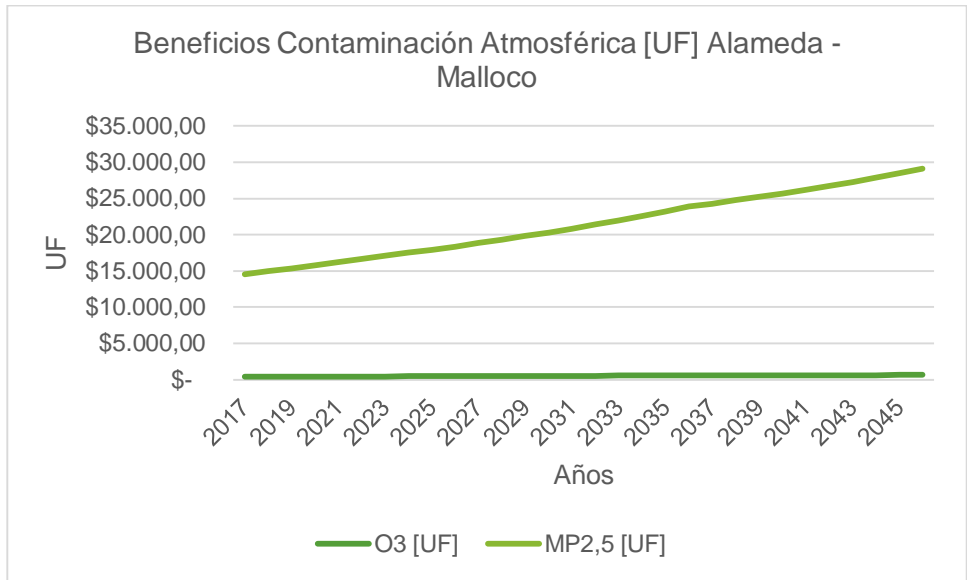


ILUSTRACIÓN 36: BENEFICIOS POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN TRAMO ALAMEDA – MALLOCO.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Luego, el VAN por concepto de la externalidad y su aporte al VAN del proyecto se muestra en la siguiente tabla:

Tramo	VAN Contaminación Atmosférica [UF]	% respecto a VAN de tramo	VAN tramo con Contaminación Atmosférica [UF]
Mapocho - Batuco	\$ 280.789,57	6,68%	\$ 4.482.194,08
Alameda - Malloco	\$228.859,99	3,15%	\$7.495.697,42

TABLA 54: VAN POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Con estos valores, se aprecia que la contaminación atmosférica es la externalidad más influyente en el proyecto.

Si se toman los valores de la vida por metodología VE (15.300 UF), se tienen los siguientes resultados:

Tramo	VAN Contaminación Atmosférica [UF]	% respecto a VAN de tramo	VAN tramo con Contaminación Atmosférica [UF]
Mapocho - Batuco	\$ 1.171.723,84	27,89%	\$ 5.373.128,36
Alameda - Malloco	\$ 990.979,24	13,64%	\$ 8.257.816,67

TABLA 55: VAN POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA CON VALOR DE VSL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En este caso sí es muy relevante la externalidad debido al alto valor que adquiere la muerte de una persona.

7.4. Evaluación Social con externalidades

El resultado final de la evaluación social con externalidades es el siguiente:

TRAMO	VAN inicial [UF]	VAN Accidentabilidad	VAN Cambio Climático	VAN Cont Atmosférica	VAN final [UF]	% variación VAN
Mapocho -Batuco	\$ 4.201.405	\$ 75.740	-\$ 6.408	\$ 280.790	\$ 4.551.526	7,7%
Alameda - Malloco	\$ 7.266.837	-\$ 79.985	-\$ 15.668	\$ 228.860	\$ 7.400.044	1,8%

TABLA 56: EVALUACIÓN SOCIAL CON EXTERNALIDADES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Otra manera de ver el VAN del proyecto, es por las contribuciones al VAN final del beneficio por ahorro de tiempo y las externalidades:

TRAMOS

	Mapocho -Batuco		Alameda - Malloco	
	Valor [UF]	Proporción respecto a VAN Final[%]	Valor [UF]	Proporción respecto a VAN Final[%]
VAN Beneficio Ahorro de tiempo	\$ 4.201.405	92,30%	\$ 7.266.837	98,2%
VAN Beneficio por disminución accidentabilidad	\$ 75.740	1,66%	-\$ 79.985	-1,1%
VAN Beneficio por disminución cambio climático	-\$ 6.080	-0,13%	-\$ 14.925	-0,2%
VAN Beneficio por disminución de contaminación atmosférica	\$ 280.790	6,17%	\$ 228.860	3,1%

TABLA 57: PROPORCIÓN DE VAN POR ÍTEM RESPECTO A VAN FINAL DE PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Las externalidades en su conjunto influyen de manera positiva en el VAN, principalmente por la contaminación atmosférica. Sin embargo, es necesario analizar la variabilidad de los valores para tener mayor seguridad respecto a la evaluación.

Para complementar la tabla con el VAN final, a continuación una ilustración de los flujos de la evaluación, con y sin externalidades.

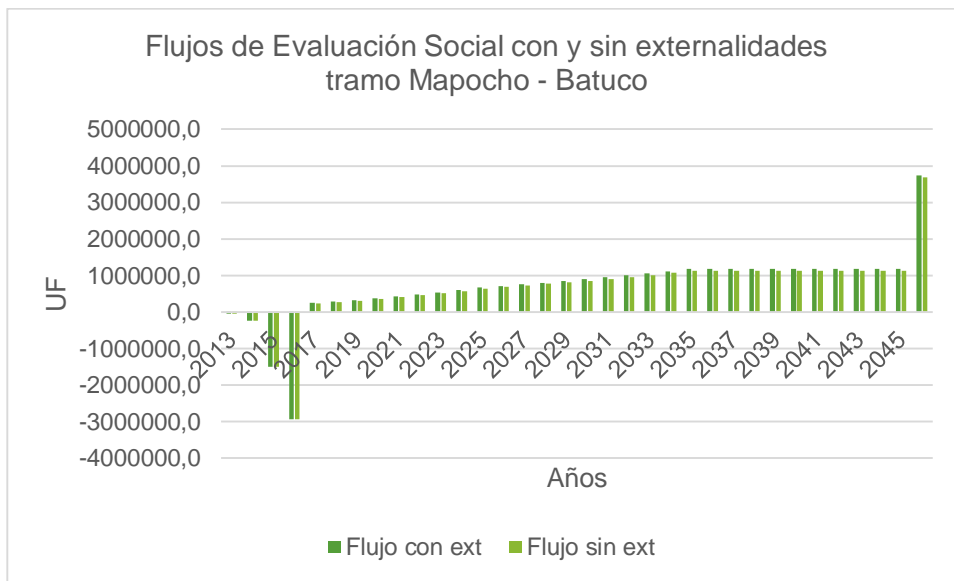


ILUSTRACIÓN 37: FLUJO DE EVALUACIÓN SOCIAL CON Y SIN EXTERNALIDADES EN TRAMO MAPOCHO – BATUCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

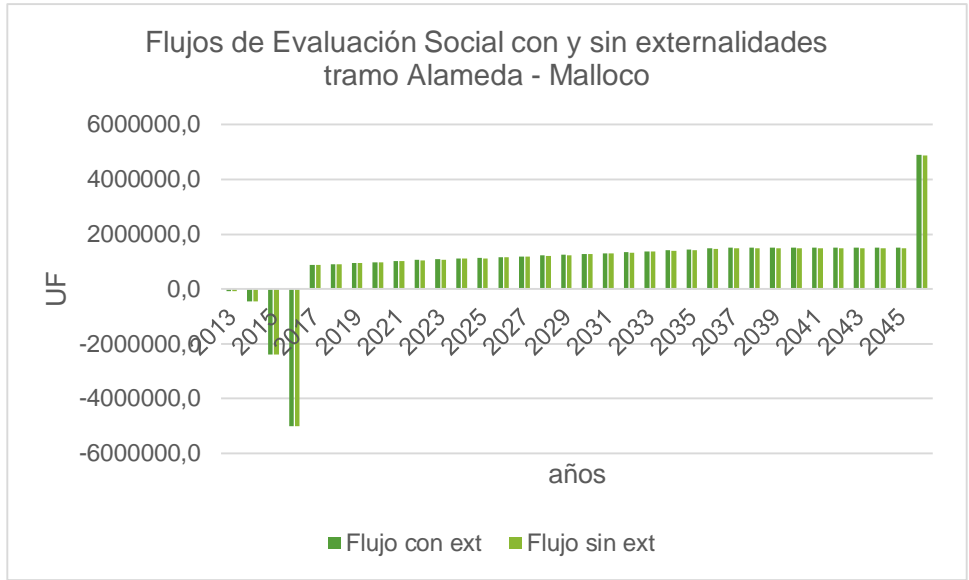


ILUSTRACIÓN 38: FLUJOS DE EVALUACIÓN SOCIAL CON Y SIN EXTERNALIDADES EN TRAMO ALAMEDA – MALLOCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

8. Análisis de Riesgo

Para el desarrollo del trabajo, se realiza un análisis de riesgo en las variables que determinan los beneficios sociales, por cuanto tienen una incertidumbre no menospreciable. Es así como se detectarán cuáles son estas variables, se determinarán probabilidades de ocurrencia, desviaciones estándar y cómo influyen en el VAN social.

Los factores importantes que podrían variar en el proyecto y afectar la evaluación social son:

- Aumentos en los costos de inversión: Los costos de inversión en la práctica siempre son más altos que los que se tenían contemplados. Para el caso se considerará un aumento del 35% [36].
- Aumentos en los plazos de ejecución de las obras: Los plazos son de 4 años por tramo. Se determinará una desviación estándar del 25%, es decir, que el proyecto se demore un año más en la construcción, lo que parece razonable con la data histórica de los proyectos.
- Incumplimiento en crecimiento de las tasas de demanda: Se analizará el caso en que la tasa de crecimiento de demanda sea menor o mayor en un 50%.
- Mejoras en los servicios de pasajeros sustitutos: No se sabe con certeza cuánto podría mejorar el servicio de pasajeros en bus, ni cuánto podría afectar el proyecto, por lo que se considerará una desviación estándar del 50% en el porcentaje en que se absorbe flota de buses del sistema.
- Aumento en precios unitarios de CO₂: El precio del CO₂ varía mucho dependiendo del país y de las políticas referidas al cambio climático. Por ejemplo, en Europa varía entre 20 y 140 euros, lo que significa una variación de 600%. Como el periodo de evaluación es de 30 años, y la contingencia mundial indica que el precio del CO₂ solo puede ir aumentando, se considerará esta desviación estándar.
- Aumento en valor de la vida: Al igual que el valor del CO₂, la vida tiene una gran variación en función de la metodología que se utilice. Como es posible que aumente y que migre a un valor cercano al que se estima por VE, se considerará una desviación estándar de 342%.

	Factor de Riesgo	Índole	Impacto	Probabilidad de Ocurrencia	Desviación Estándar Factor
Proyecto	Aumento de costos de inversión	Interno	Alto	Alta	35%
	Aumento de plazo en la ejecución de la obra	Interno	Alto	Alta	25%
	No se cumplen las proyecciones de crecimiento de demanda	Externo	Alto	Alta	50%
	Mejoras en servicios de pasajeros o carga en modo vial sustituto	Externo	Alto	Baja	50%
Externalidades	Cambios en Precios unitarios de CO2	Externo	Alto	Media	600%
	Cambios en Precios unitarios de Vida	Externo	Alto	Media	342%

TABLA 58: FACTORES DE RIESGO DEL PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Además, se consideran factores de correlación entre los distintos factores de riesgo, donde un factor de 0,8 es alto, 0,4 es medio, y 0 es bajo.

	Inv	Eje	Dda	Bus	CO2	Vida
Inv	1	0,8	0	0	0	0
Eje	0,8	1	0	0	0	0
Dda	0	0	1	0,4	0	0
Bus	0	0	0,4	1	0	0
CO2	0	0	0	0	1	0
Vida	0	0	0	0	0	1

TABLA 59: MATRIZ DE CORRELACIONES ENTRE FACTORES DE RIESGO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Entonces, haciendo las variaciones respectivas, se tienen los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Variable	Proyecto	Variación	VAN final	VAN inicial	Desv Est
Inversión	Batuco	35%	\$ 3.252.244	\$ 4.551.526	28,5%
		-35%	\$ 5.850.808	\$ 4.551.526	
	Malloco	35%	\$ 5.181.838	\$ 7.400.044	30,0%
		-35%	\$ 9.618.250	\$ 7.400.044	
Tasa Demanda	Batuco	50%	\$ 5.032.429	\$ 4.551.526	-10,0%
		-50%	\$ 4.123.156	\$ 4.551.526	
	Malloco	50%	\$ 8.026.027	\$ 7.400.044	-11,6%
		-50%	\$ 6.305.386	\$ 7.400.044	
Ejecución	Batuco	25%	\$ 4.132.961	\$ 4.551.526	7,7%
		-25%	\$ 4.830.909	\$ 4.551.526	
	Malloco	25%	\$ 6.713.878	\$ 7.400.044	8,3%
		-25%	\$ 7.935.150	\$ 7.400.044	
Bus	Batuco	50%	\$ 4.693.770	\$ 4.551.526	-3,1%
		-50%	\$ 4.410.665	\$ 4.551.526	
	Malloco	50%	\$ 7.517.902	\$ 7.400.044	-1,6%
		-50%	\$ 7.284.147	\$ 7.400.044	
Precio Carbono	Batuco	600%	\$ 4.515.374	\$ 4.551.526	-0,8%
		-600%	\$ -	\$ 4.551.526	
	Malloco	600%	\$ 7.311.235	\$ 7.400.044	-1,2%
		-600%	\$ -	\$ 7.400.044	
Precio Vida	Batuco	342%	\$ 6.254.587	\$ 4.551.526	37,4%
		-342%	\$ -	\$ 4.551.526	
	Malloco	342%	\$ 7.894.990	\$ 7.400.044	6,7%
		-342%	\$ -	\$ 7.400.044	

TABLA 60: DESVIACIONES ESTÁNDAR DE VAN DE PROYECTO RESPECTO A FACTORES DE RIESGO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Respecto a las sensibilidades que se hizo a las variables, destaca la variabilidad del VAN respecto a la inversión y la tasa de crecimiento de la demanda. Llama la atención cómo cambia en el tramo de Batuco el VAN si cambia el valor de la vida, y esto ocurre por la tasa de mortalidad que destaca frente al proyecto de Malloco.

Ahora, para obtener el riesgo del proyecto, se utiliza la siguiente fórmula:

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

Donde:

- σ^2 : Riesgo del proyecto
- σ_i : Desviación estándar del VAN respecto a la variable i

- $\rho_{i,j}$: Correlación de variable j respecto a i
- w_i : peso de σ_i respecto a la suma de éstas.

Con los datos entregados, el resultado final de riesgo de cada tramo es el siguiente:

$$\sigma_{Batuco}^2 = 3,54\%$$

$$\sigma_{Malloco}^2 = 2,64\%$$

9. Conclusiones

9.1. Respeto a la Accidentabilidad

Existen algunos hechos que son inquietantes al momento de estimar los costos sociales asociados a esta externalidad, debido a la variabilidad de las tasas de accidentabilidad que podrían ocurrir en el periodo de evaluación:

- La situación de alta tasa de accidentabilidad registrada en Chile respecto a países de la OCDE [32] (ver anexo VIII para información),
- La alta tasa de accidentabilidad en particular que tiene la ruta 5 norte,
- Y las medidas de mejora que se implementarán en la ruta 5 norte, en específico entre la circunvalación de Américo Vespucio y el peaje de Lampa.

El primer punto es importante por cuanto podrían adoptarse políticas públicas que mejoren la seguridad vial general de las carreteras y avenidas del país, en especial en aquellas que presentan peores resultados, con el fin de acercarse o igualar las tasas de accidentabilidad de los países pertenecientes a la OCDE. Esto afectaría positivamente los costos sociales del proyecto en estudio.

Respecto al segundo punto, la ruta 5 norte es una de las carreteras con mayor accidentabilidad en Chile, en especial el tramo de Santiago a Lampa (60% de los accidentes en esta ruta ocurren en el 7% del tramo involucrado en el proyecto), y frente a esto se tomarán medidas [24] para disminuirla, que abarcarán la zona entre Quilicura y Lampa (km 10,8 al 26,0) y que consisten básicamente en:

- Ampliar capacidad de la vía expresa de 3 a 4 pistas entre el km 10,9 al 14,8
- Construir 6 nuevos enlaces desnivelados.
- Readecuación de 4 pasos desnivelados existentes
- Implementación de 30 km de calles de servicios continuas
- Ciclovías en ambos lados de la ruta (30 km)
- Iluminación a lo largo de toda la vía expresa y local
- Mejoras en señalización y seguridad vial
- Sistema de gestión de tráfico
- Habilitación de 21 pares de paraderos de buses en calles de servicio.
- Construcción de 10 pasarelas peatonales nuevas (cada 700 metros).
- Implementación de peaje con sistema TAG.

Además de los beneficios por accidentabilidad, se esperan beneficios económicos por impulso de creación de trabajos, y aumento de la plusvalía en las zonas residenciales entre un 15% y 20% [37][38].

A pesar de todos los beneficios que se esperan, la población no está conforme con las medidas de mejora, debido a que reclaman que el proyecto discrimina por las personas que pueden pagar y las que no (que tendrían que circular por las caleteras), no resuelve el problema de congestión desde Américo Vespucio hacia Santiago (el proyecto no contempla ese tramo), y las nuevas pasarelas no estarán ubicadas donde se movilizan las personas.

Debido a esto y principalmente a que no hay mejoras en el tramo de Santiago a Américo Vespucio en la ruta 5 norte, es que no se puede prever una mejora significativa en la accidentabilidad en la evaluación social realizada en el trabajo en el corto plazo.

Sin embargo, se recomienda realizar estimaciones de accidentabilidad con tasas promedio de carreteras en Chile que tengan niveles de congestión e infraestructura similar, pero con mejores estándares de seguridad, para comparar con una situación optimizada más cercana a lo que se podría tener en el futuro.

9.2. Respecto al Cambio Climático

Los resultados de la estimación de beneficios de cambio climático arrojan dos conclusiones:

- Las diferencias de emisión de CO₂ que genera el proyecto son insignificantes.
- Y la poca importancia que tiene actualmente esta externalidad en el país.

El segundo punto se refleja en el precio que tiene el CO₂, y se prevé debería aumentar con el paso del tiempo. Si se diera más importancia a la externalidad, este sí sería una variable relevante en todo tipo de proyectos que involucren emisiones de carbono, sin embargo, su bajo valor hace que por el momento emitir más o menos carbono no se refleje como un costo social real.

Se espera que el precio del CO₂ aumente debido a los acontecimientos que han ocurrido, como el acuerdo climático del COP21 [39] que se resume en los siguientes puntos:

- Los compromisos nacionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al 2030 son insuficientes, por lo que se requiere de un

esfuerzo mayor para limitar el incremento de la temperatura promedio global en 2°.

- Los países deberán alcanzar el mínimo de sus GEI lo más pronto posible, lo que debería lograrse para la segunda mitad del siglo.
- Implementación del principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas y capacidades respectivas (CBDR –RC).
- Financiamiento para adaptación y mitigación
- Etc.

Como el precio del CO2 responde a los objetivos y estrategias planteados por los países para reducir los GEI, es posible pensar que el precio del CO2 en el periodo de 30 años que considera la evaluación del proyecto, aumente considerablemente su valor.

Más allá del valor del CO2, en el análisis de riesgo se observa que éste no es una variable que influya ni determine la rentabilidad del proyecto, por lo que el proyecto no influye en el aumento o disminución de los costos sociales por cambio climático.

Por otra parte, la tecnología ha permitido que los estándares de los vehículos y trenes respecto a las emisiones de CO2 y contaminantes, sean cada vez mejores, por lo que solo cabe esperar que los costos que genera el tren, solo puedan aumentar, debido a que los trenes tienen un mayor tiempo de vida estimado que los buses, que se van cambiando cada ciertos años (y así mejorando sus estándares).

9.3. Respecto a la Contaminación Atmosférica

La contaminación atmosférica es una externalidad más difícil de calcular debido a su nivel de alcance local, y por la gran cantidad de variables que abarca. En particular, se encontraron dificultades en la conversión de cantidad de emisiones a concentraciones, primeramente porque SECTRA utiliza el modelo MODEC para llevar a cabo esta tarea, y no era una opción aplicar el modelo para el caso. Por lo que se recurrió a valores promedios para la Región Metropolitana. Y para estos valores, hay distintas magnitudes dependiendo de la fuente a la que se recurra (SECTRA, MMA, expertos, etc.), por lo que se decidió utilizar los valores que entrega SECTRA, debido a que es el actor más involucrado y con más años desarrollando el modelo para estimar concentraciones de las emisiones.

Una de las grandes dificultades que aparecen al momento de estimar las concentraciones, es que no hay valores de factores de concentraciones promedio para zonas interurbanas. Solo se han estimado factores para las ciudades más importantes del país. Por lo que se decidió que la zona interurbana de la RM, se

comporta de la misma manera que la zona urbana, para poder ocupar los valores de los factores que tiene ésta asignados.

Asimismo ocurre cuando se desea aplicar las funciones de dosis respuesta, ya que SECTRA, MMA, MINSAL y hasta expertos tienen tablas distintas de las tasas bases de incidencia de enfermedades. Para el caso se utilizan las tasas del MINSAL por la misma razón que antes se utilizaron los factores de concentración de SECTRA.

9.4. Respecto al Análisis de Riesgo

El análisis de riesgo que se llevó a cabo muestra que la tasa de crecimiento de la demanda y la inversión son los factores determinantes en la rentabilidad del proyecto. Además, respecto al resultado, el proyecto contempla un riesgo que podría considerarse bajo debido a que está bajo el 5%.

Sin embargo, las externalidades son necesarias de analizar, puesto que es importante tener sobre la mesa todos los costos que asume la sociedad por los proyectos que se realizan, y porque es responsabilidad del mandante y ejecutor prever posibles problemas o beneficios colaterales de un proyecto.

Asimismo, es de relevancia realizar un análisis de externalidades no necesariamente cuantificables, como por ejemplo, de la segregación urbana, biodiversidad, efectos de aglomeración, etc.

Al comparar los análisis de sensibilidad realizados con los análisis de sensibilidad de la empresa EFE, estos últimos no son satisfactorios respecto a la real variabilidad de los factores de riesgo. Se propone como recomendación comparar respecto a proyectos pasados cómo han variado éstos, y analizar en base a los datos históricos los resultados de rentabilidad del proyecto en estudio.

9.5. Respecto a la Evaluación Social

La evaluación social de un proyecto debe hacerse comparando contra una situación base optimizada. Llama la atención en este proyecto que la situación contra la que se compara, es la situación base, y bajo esta situación se podría estar incurriendo en una sobre estimación de beneficios en la evaluación social.

No se contemplan otros proyectos aceptados paralelamente para comparar beneficios, o una situación con medidas de mejora de congestión hipotética. Por ejemplo, en la ruta 5 norte [24] se están llevando a cabo mejoras para disminuir la congestión, lo que podría ver disminuidos los beneficios del proyecto en estudio.

9.6. Respecto a los datos utilizados

En el desarrollo y aplicación de las metodologías de externalidades, se pudo apreciar la incredulidad entre instituciones y expertos respecto a las metodologías y valores que utilizan para realizar sus cálculos, por lo que cada uno utiliza sus propios resultados para estimar costos y beneficios.

Debido a que los datos oficiales no son utilizados entre las instituciones, ni son ampliamente difundidos, es que para estimar costos por externalidades, es que ocurren situaciones como por ejemplo, que EFE utiliza valores internacionales para aplicarlos directamente a sus proyectos particulares. Esto es una mala práctica, ya que las realidades en otros países son muy distintas al de Chile, y así se plasma en los resultados obtenidos en este trabajo.

Con datos elaborados en otros países, como por ejemplo los de INFRAS, EFE hace estimaciones de sus externalidades que luego MDS no puede aceptar debido a que no están adaptados a la realidad chilena. Estos cálculos exageran las externalidades por cuanto los costos sociales en Europa son mucho más altos si se habla del valor del tiempo, de la vida, del CO₂, de los contaminantes, ruido, etc. Mientras que con los cálculos realizados en este trabajo, con valores adaptados a la realidad chilena, se observa que en particular en este proyecto, las externalidades evaluadas no toman mayor relevancia.

Por lo que se hace importante desarrollar y consensuar métodos y valores propios para el país, para aplicar en las evaluaciones de proyectos.

Por otro lado, existe falta de información detallada por parte de instituciones como Carabineros, CONASET y el MOP, respecto a los flujos de vehículos, niveles de congestión y accidentabilidad, para las carreteras concesionadas y las que no lo estén. En particular hay mucha falta de información respecto a estas últimas. SECTRA hizo reafirmación de esto al confirmar que incluso a ellos les cuesta obtener información de las instituciones.

Además, para muchos casos es necesario realizar supuestos, como por ejemplo que el factor de emisión de CO₂ o de contaminantes se mantiene en el periodo de evaluación, que la accidentabilidad es directamente proporcional a la congestión, etc.

Así, es importante tomar los resultados de la evaluación social con reserva y considerar el análisis de riesgo para saber con mayor certeza cómo podría comportarse la rentabilidad del proyecto.

9.7. Incorporación de la ciudadanía y fiscalización

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 éstos.

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.

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.

Por ello, se promueve generar instancias de participación anticipándose a los conflictos, con una adecuada planificación, estrechando lazos con los involucrados. De esta manera, el diseño de los proyectos se adecua desde un principio a los objetivos, se obtienen mejores soluciones, y se evitan muchos problemas de ejecución.

La importancia de la participación ciudadana radica en que no se pueden construir ciudades sin las personas ³ "porque ellos son la ciudad. “Antiguamente, la planificación era muy jerárquica y confiaba mucho en la visión de los expertos, arquitectos, ingenieros, pero hoy es impensable construir la ciudad sin tener consideración a las personas que habitan los espacios". Esta frase que parece indiscutible en estos tiempos, parece no ser lo que ocurre en el país, específicamente en el desarrollo de proyectos viales.

En el caso particular de estudio, éste se desarrolla a partir de un plan de transporte del Ministerio de Transporte, institución que a partir de modelos de congestión determina qué proyectos deben incorporarse y evaluarse, además de los que proponen otras instituciones involucradas, como en este caso puede ser EFE. No hay participación de actores involucrados, no hay opinión pública, y todo el diseño y ejecución es jerárquica.

En los documentos entregados por EFE, se encuentran los estudios de consultores de factibilidad del proyecto, de estimaciones de demanda, de estudios de tarifa, etc., y minutas de reuniones respecto a cómo mejorar el proyecto en vista de las distintas aristas que presentan ellos. Sin embargo, no hay cuestionamientos ni opiniones

³ Bernardo Suazo, decano de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía de la U. de Concepción, 2015

recogidas de alcaldes, habitantes, futuros usuarios, etc., sobre el proyecto; solo opiniones de expertos. Ni tampoco hay una previsión de qué problemas podrían surgir en la ejecución.

De igual forma, es importante el rol que cumplen las contrapartes como es en el caso de EFE el MDS, quien debiese preocuparse de que este tipo de análisis estén contemplados en las evaluaciones.

A continuación, a modo de ejemplo, el caso de Rancagua Express.

9.7.1. Caso Empírico: Rancagua Express

Este proyecto de EFE fue anunciado en 2012 y su objetivo es mejorar el servicio ferroviario Santiago-Nos-Rancagua, acortando los tiempos de desplazamiento en el sector sur de Santiago y, de paso, revitalizar la compañía EFE.

El proyecto contempla tres estaciones, la construcción de una tercera vía entre Santiago y Nos y desniveles de 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. Así, la acción pública del Estado chileno ha sido fuertemente cuestionada por su carácter centralizado y desigual en la distribución de los costos y beneficios de inversiones urbanas, con el motivo de que 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 Nº 20.500, en su artículo 73 y 74) y se les integre a una mesa de trabajo con EFE.

Al proyecto se le critican distintos puntos, entre los cuales se encuentra:

- Dejar escasos metros hasta las viviendas de comunas vulnerables,
- El entorno urbano no está modelado según la realidad,

- Confinamiento total de la vía por muros generaría segregación,
- Pérdida de visibilidad,
- Aumento de delincuencia,
- Daño paisajístico y patrimonial,
- 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).

Como consecuencia de todo esto, 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.

9.8. Propuesta alternativa de adaptación de valoración de la vida para beneficios de accidentabilidad

Debido a las múltiples controversias que genera asignarle un valor determinado a la vida, según se vio en el apartado 4.4, se propone una metodología para llevar a cabo los cálculos que involucren este ítem, consistente en establecer el nivel de inversión necesaria para igualar la tasa de accidentabilidad en distintos modos de transporte, en este caso entre el modo vial caminero de Ruta 5 Norte hasta peaje Lampa, Camino a Melipilla y Ruta 78 hasta Malloco, y el modo vial ferroviario.

Los pasos a seguir son:

- 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:

- “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 Anexo VII)
- Manuales de costos de infraestructura

10. Bibliografía

- [1] Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Plan Maestro de Transporte 2025 Santiago. Chile, 2012.
- [2] Ministerio de Desarrollo Social, Metodología para la evaluación socioeconómica de proyectos de transporte ferroviario. Chile, 2013.
- [3] INFRAS/IWW, External Cost of Transport Update Study. UE: University of Karlsruhe, 2004.
- [4] Luis Ignacio Rizzi, Costos Externos del Transporte Automotor Vial en la RM de Santiago. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2008.
- [5] Empresa de Ferrocarriles del Estado, Servicio Ferroviario Suburbano de Transporte de Pasajeros Alameda – Malloco. Chile, 2013.
- [6] Empresa de Ferrocarriles del Estado, Servicio Ferroviario Suburbano de Transporte de Pasajeros Mapocho - Batuco. Chile, 2013.
- [7] Eduardo Contreras, Evaluación social de inversiones públicas: enfoques alternativos y su aplicabilidad para Latinoamérica. Santiago de Chile: CEPAL, 2004.
- [8] Empresa de Ferrocarriles del Estado, El futuro del sistema ferroviario: Documento de Posición del Directorio de EFE. Chile, 2009
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] José Barbero y Rodrigo Rodríguez, Transporte y cambio climático: hacia un desarrollo sostenible y de bajo carbono. Buenos Aires, Argentina. 2012.
- [13] Marta Bellera y Marta Sánchez, Trascendencia de las externalidades ambientales en la valoración socioeconómica de proyectos de alta velocidad ferroviaria. Barcelona, España. 2013.

- [14] PNUD y MAPS Chile, Proyección Escenario Línea Base 2013 y Escenarios de Mitigación del Sector Transporte y Urbanismo. Chile. 2014.
- [15] Gonzalo Alcoholado, Estimación de los costos externos de los accidentes de tránsito en Chile. Santiago de Chile. 2007.
- [16] Carabineros de Chile. Anuario estadístico de tránsito. Chile. 2014.
- [17] Ministerio de Desarrollo Social. Precios Sociales Vigentes 2015. Chile. 2015
- [18] Ministerio de Desarrollo Social. Estimación de los costos sociales por fallecimiento prematuro en Chile a través de del enfoque de capital humano. Chile. 2011
- [19] Ministerio del Medio Ambiente. Análisis general del impacto económico y social de la conveniencia de adelantar un año la entrada en vigencia de la norma de emisiones para vehículos bajo el método ASM en regiones. Chile. 2015
- [20] Departamento de Transporte del Reino Unido. Evaluación de Impacto Ambiental, TAG UNIT A3. Reino Unido. 2014
- [21] SECTRA, MIDEPLAN. Metodología Simplificada para la Estimación de Beneficios Sociales producto de la disminución accidentes en proyectos de vialidad interurbana. Chile. 2011
- [22] INE
http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php
- [23] Metro de Valparaíso S.A. Memoria Anual 2014. Chile. 2014
- [24] Ministerio de Obras Públicas. Concesión Internacional Ruta 5 Tramo Santiago – Los Vilos. Chile. 2015
- [25] Ministerio de Obras Públicas. Concesión Autopista Santiago – San Antonio. Chile. 2015
- [26] Carabineros de Chile. Anuario Tránsito 2014. Chile. 2014
- [27] CONASET. Densidad de siniestros de tránsito por hectárea, comuna de Maipú 2014. Chile. 2014
- [28] CONASET. Puntos críticos de siniestros de tránsito y lesionados, comuna de Maipú. Chile. 2014

- [29] SECTRA. Análisis Metodológico para la aplicación del modelo MODEC en regiones, etapa II. Chile. 2013
- [30] INE y CEPAL. Chile: Proyecciones y Estimaciones de Población, Total País, 1950 – 2050. Chile. 2010
- [31] MDS. Metodología Simplificada de Estimación de Beneficios Sociales por Disminución de Accidentes en Proyectos de Vialidad Interurbana. Chile. 2011
- [32] OCDE. Informe sobre la Situación de la Seguridad Vial 2015. 2015.
- [33] Subsecretaría de transportes. <http://usuarios.subtrans.gob.cl/estadisticas.html> 2015
- [34] Ficha Técnica Bus Rural. <http://www.caio.cl/rural.html> 2015
- [35] CIA World Factbook <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/> 2015
- [36] Engel, Fischer y Galetovic. La Economía de las Asociaciones Público Privadas. Chile, 2014.
- [37] El Mercurio, Ruta 5 Norte: expectativas y dudas por mejoramiento de tramo Vespucio-Lampa <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2015/02/25/ruta-5-norte-expectativas-y-dudas-por-mejoramiento-de-tramo-vespucio-lampa/> 2015
- [38] MOP, Ministro Undurraga anunció mejoramiento del tramo urbano Santiago-Lampa de la Ruta 5 Norte, que incorporará sistema TAG para pagar peaje <http://www.mop.cl/Prensa/Paginas/DetalleNoticiaSecundaiaMp.aspx?item=1688> 2015
- [39] La ruta del clima <http://larutadelclima.org/category/desde-la-cop21/> 2015
- [40] SEGPRES <http://participacionciudadana.minsegpres.gob.cl/que-es-participacion-ciudadana>. 2015
- [41] Ximena Valenzuela, Participación ciudadana debe ser impulsada en proyectos urbanos. <http://www.diarioconcepcion.cl/?q=content/participaci%C3%B3n-ciudadana-debe-ser-impulsada-en-proyectos-urbanos> 2015.
- [42] Instituto Estudios Urbanos UC <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/> 2013

ANEXOS

I. 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 se 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.

II. Información Técnica de los trenes

Modelo	Alstom Civia 462	
Longitud	44,8	m
Anchura	2,94	m
Altura	4,265	m
Peso	80	ton
Electrificación	3	kV
Velocidad Máxima	120	km/h
Potencia	1270	kW
Número de plazas	414	
Sistema de seguridad	ASFA	
Mando Múltiple	3	

III. Participación de vehículos en accidentes

La participación de los vehículos en accidentes se obtiene a partir de información pública de Carabineros de Chile [26].

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

Si se consideran las categorías de Bus/Taxibus y Minibus como buses, entonces la participación relativa de los buses en los accidentes es de 8,3%.

IV. Accidentes y Lesionados

Los accidentes y lesionados proyectados que se evitan en la carretera son los que se muestran en las siguientes tablas:

- Tramo Alameda – Malloco:

Año	Muertos	Graves	Menos graves	Leves	Atropello	Caida	Volcadura	Colision	Choque	Otros
2017	0,04	0,20	0,21	0,82	0,02	0,05	0,06	0,39	0,08	0,09
2018	0,04	0,20	0,22	0,83	0,02	0,05	0,06	0,39	0,08	0,10
2019	0,04	0,21	0,22	0,85	0,02	0,05	0,06	0,40	0,08	0,10
2020	0,04	0,21	0,22	0,86	0,02	0,05	0,06	0,40	0,09	0,10
2021	0,04	0,21	0,23	0,87	0,02	0,05	0,06	0,41	0,09	0,10
2022	0,04	0,22	0,23	0,89	0,02	0,05	0,06	0,42	0,09	0,10
2023	0,04	0,22	0,23	0,89	0,02	0,05	0,06	0,42	0,09	0,10
2024	0,04	0,22	0,23	0,90	0,02	0,05	0,07	0,42	0,09	0,10
2025	0,04	0,22	0,24	0,91	0,03	0,05	0,07	0,43	0,09	0,10
2026	0,04	0,23	0,24	0,92	0,03	0,05	0,07	0,43	0,09	0,11
2027	0,04	0,23	0,24	0,93	0,03	0,05	0,07	0,44	0,09	0,11
2028	0,04	0,23	0,24	0,94	0,03	0,06	0,07	0,44	0,09	0,11
2029	0,04	0,23	0,25	0,95	0,03	0,06	0,07	0,45	0,10	0,11
2030	0,04	0,24	0,25	0,96	0,03	0,06	0,07	0,45	0,10	0,11
2031	0,04	0,24	0,25	0,97	0,03	0,06	0,07	0,46	0,10	0,11
2032	0,04	0,24	0,25	0,98	0,03	0,06	0,07	0,46	0,10	0,11
2033	0,04	0,24	0,26	0,99	0,03	0,06	0,07	0,46	0,10	0,11
2034	0,04	0,25	0,26	1,00	0,03	0,06	0,07	0,47	0,10	0,11
2035	0,05	0,25	0,26	1,01	0,03	0,06	0,07	0,47	0,10	0,12
2036	0,05	0,25	0,26	1,02	0,03	0,06	0,07	0,48	0,10	0,12
2037	0,05	0,25	0,27	1,03	0,03	0,06	0,07	0,48	0,10	0,12
2038	0,05	0,25	0,27	1,03	0,03	0,06	0,07	0,48	0,10	0,12
2039	0,05	0,25	0,27	1,03	0,03	0,06	0,07	0,48	0,10	0,12
2040	0,05	0,25	0,27	1,03	0,03	0,06	0,07	0,48	0,10	0,12
2041	0,05	0,25	0,27	1,03	0,03	0,06	0,07	0,48	0,10	0,12
2042	0,05	0,25	0,27	1,03	0,03	0,06	0,07	0,48	0,10	0,12
2043	0,05	0,25	0,27	1,03	0,03	0,06	0,07	0,48	0,10	0,12
2044	0,05	0,25	0,27	1,03	0,03	0,06	0,07	0,48	0,10	0,12
2045	0,05	0,25	0,27	1,03	0,03	0,06	0,07	0,48	0,10	0,12
2046	0,05	0,25	0,27	1,03	0,03	0,06	0,07	0,48	0,10	0,12

- Tramo Mapocho – Batuco:

Año	Muertos	Graves	Menos graves	Leves	Atropello	Caida	Volcadura	Colision	Choque	Otros
2017	1,6	4,1	3,2	26,2	1,5	0,1	2,6	8,8	4,1	1,9
2018	1,72	4,33	3,44	27,88	1,64	0,07	2,77	9,34	4,41	2,02
2019	1,83	4,62	3,66	29,70	1,75	0,08	2,95	9,95	4,70	2,15
2020	1,95	4,92	3,90	31,65	1,87	0,08	3,14	10,61	5,01	2,29
2021	2,08	5,24	4,16	33,72	1,99	0,09	3,35	11,30	5,33	2,44
2022	2,22	5,59	4,43	35,94	2,12	0,10	3,56	12,04	5,68	2,60
2023	2,36	5,95	4,72	38,29	2,26	0,10	3,80	12,83	6,06	2,77
2024	2,52	6,34	5,03	40,80	2,41	0,11	4,05	13,67	6,45	2,95
2025	2,68	6,76	5,36	43,47	2,56	0,12	4,31	14,57	6,88	3,15
2026	2,77	6,98	5,54	44,90	2,65	0,12	4,45	15,05	7,10	3,25
2027	2,86	7,21	5,72	46,37	2,73	0,12	4,60	15,54	7,33	3,36
2028	2,95	7,45	5,91	47,89	2,82	0,13	4,75	16,05	7,57	3,47
2029	3,05	7,69	6,10	49,46	2,92	0,13	4,91	16,57	7,82	3,58
2030	3,15	7,94	6,30	51,08	3,01	0,14	5,07	17,12	8,08	3,70
2031	3,25	8,20	6,51	52,75	3,11	0,14	5,23	17,68	8,34	3,82
2032	3,36	8,47	6,72	54,48	3,21	0,15	5,40	18,26	8,62	3,94
2033	3,47	8,75	6,94	56,27	3,32	0,15	5,58	18,86	8,90	4,07
2034	3,58	9,04	7,17	58,11	3,43	0,16	5,76	19,47	9,19	4,21
2035	3,70	9,33	7,40	60,01	3,54	0,16	5,95	20,11	9,49	4,34
2036	3,70	9,33	7,40	60,01	3,54	0,16	5,95	20,11	9,49	4,34
2037	3,70	9,33	7,40	60,01	3,54	0,16	5,95	20,11	9,49	4,34
2038	3,70	9,33	7,40	60,01	3,54	0,16	5,95	20,11	9,49	4,34
2039	3,70	9,33	7,40	60,01	3,54	0,16	5,95	20,11	9,49	4,34
2040	3,70	9,33	7,40	60,01	3,54	0,16	5,95	20,11	9,49	4,34
2041	3,70	9,33	7,40	60,01	3,54	0,16	5,95	20,11	9,49	4,34
2042	3,70	9,33	7,40	60,01	3,54	0,16	5,95	20,11	9,49	4,34
2043	3,70	9,33	7,40	60,01	3,54	0,16	5,95	20,11	9,49	4,34
2044	3,70	9,33	7,40	60,01	3,54	0,16	5,95	20,11	9,49	4,34
2045	3,70	9,33	7,40	60,01	3,54	0,16	5,95	20,11	9,49	4,34
2046	3,70	9,33	7,40	60,01	3,54	0,16	5,95	20,11	9,49	4,34

V. Proyección de la Matriz Energética de Chile

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

VI. Factores de emisiones para combustibles utilizados en Chile

Combustible		kg CO ₂ /TJ	kg CO ₂ /m ³	kg CO ₂ /ton	PCI	Densidad kg/m ³
					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						

VII. Infraestructura y Factores de Reducción de Riesgo

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.

TABLA 61: INFRAESTRUCTURA Y FACTORES DE REDUCCIÓN DE RIESGO. FUENTE: MDS

VIII. Informe de la OMS sobre la Situación de la Seguridad Vial 2015

De acuerdo al último informe entregado por la OMS sobre la situación de la seguridad vial en los países OCDE (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/100.000 hab. y 2,8 muertes/100.000 [hab.] 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 ilustración se muestra que los accidentes de tránsito son la principal causa de muerte entre personas de edades entre los 15 y los 29 años.

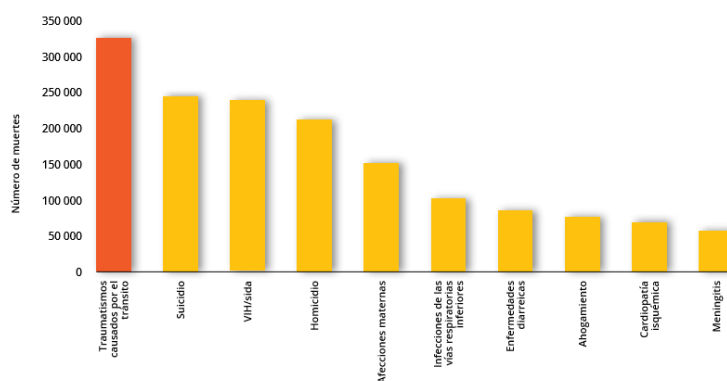


TABLA 62: LAS 10 CAUSAS PRINCIPALES DE MUERTE EN PERSONAS DE 15 A 29 AÑOS. FUENTE: OMS, 2014

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.

IX. Emisiones de CO2

A continuación las toneladas de CO2 emitidas por el modo vial ferroviario en tramo Mapocho Batuco y Alameda Malloco respectivamente:

BATUCO	Tramo Urbano	Tramo Suburbano	
Año	ton CO2	ton CO2	ton CO2 TOTAL
2017	5504,43	1446,90	6951,33
2018	5816,30	1490,75	7307,05
2019	5961,38	1490,75	7452,13
2020	5926,86	1446,90	7373,76
2021	5926,86	1446,90	7373,76
2022	6251,54	1490,75	7742,28
2023	6251,54	1490,75	7742,28
2024	6208,48	1446,90	7655,38
2025	6208,48	1446,90	7655,38
2026	6156,89	1403,06	7559,94
2027	6156,89	1403,06	7559,94
2028	5964,49	1359,21	7323,70
2029	5703,42	1271,52	6974,94
2030	5703,42	1271,52	6974,94
2031	5506,75	1227,67	6734,43
2032	5425,29	1183,83	6609,12
2033	5224,36	1139,98	6364,34
2034	5023,42	1096,14	6119,56
2035	5023,42	1096,14	6119,56
2036	4621,55	1008,45	5629,99
2037	4219,67	920,76	5140,43
2038	3817,80	833,06	4650,86
2039	3817,80	833,06	4650,86
2040	4018,74	876,91	4895,64
2041	3817,80	833,06	4650,86
2042	3817,80	833,06	4650,86
2043	3817,80	833,06	4650,86
2044	3817,80	833,06	4650,86
2045	4018,74	876,91	4895,64
2046	4018,74	876,91	4895,64

TABLA 61: EMISIONES DE CO2 DE MODO VIAL FERROVIARIO CON PROYECTO EN TRAMO MAPOCHO - BATUCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

MALLOCO

Año	ton CO2 TOTAL	
2017	16549,21005	
2018	17050,70127	
2019	17050,70127	
2020	16549,21005	
2021	16549,21005	
2022	17050,70127	
2023	17050,70127	
2024	16549,21005	
2025	17984,11266	
2026	17439,13955	
2027	17439,13955	
2028	16894,16644	
2029	15804,22021	
2030	15804,22021	
2031	15259,2471	
2032	14714,27399	
2033	14169,30088	
2034	13624,32777	
2035	13624,32777	
2036	12534,38155	
2037	11444,43533	
2038	10354,48911	
2039	10354,48911	
2040	10899,46222	
2041	10354,48911	
2042	10354,48911	
2043	10354,48911	
2044	10354,48911	
2045	10899,46222	
2046	10899,46222	

TABLA 63: EMISIONES DE CO2 DE MODO VIAL FERROVIARIO CON PROYECTO EN TRAMO ALAMEDA – MALLOCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

A continuación, las emisiones de CO2 que se evitan debido al proyecto en el modo vial caminero en ambos tramos del proyecto:

Año	Diesel Batuco [ton CO2]	Diesel Malloco [ton CO2]
2017	503,0	702,4
2018	535,9	712,9
2019	571,0	723,6
2020	608,5	734,4
2021	648,4	745,5
2022	690,8	756,6
2023	736,1	764,2
2024	784,4	771,9
2025	835,8	779,6
2026	863,2	787,4
2027	891,4	795,2
2028	920,7	803,2
2029	950,8	811,2
2030	982,0	819,3
2031	1014,2	827,5
2032	1047,4	835,8
2033	1081,7	844,2
2034	1117,2	852,6
2035	1153,8	861,1
2036	1153,8	869,7
2037	1153,8	878,4
2038	1153,8	878,4
2039	1153,8	878,4
2040	1153,8	878,4
2041	1153,8	878,4
2042	1153,8	878,4
2043	1153,8	878,4
2044	1153,8	878,4
2045	1153,8	878,4
2046	1153,8	878,4

TABLA 64: EMISIONES DE CO2 EVITADAS POR EL PROYECTO EN MODO VIAL CAMINERO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

X. Factores de emisión según norma y capacidad de buses

A continuación la tabla con los valores de los factores de emisión según norma y capacidad de buses utilizados por el MMA en unidades de gr/km:

Norma	Capacidad	CO	NO _x	MP _{2,5}	COV	SO _x	CO ₂
Euro I	A1	2,1	7,8	0,03	0,9	0,01	708
	A2	2,1	7,8	0,03	0,9	0,01	708
	B1	2,3	8,7	0,04	1,0	0,01	787
	B2	2,3	10,7	0,04	1,0	0,01	935
Euro II	A1	1,7	5,6	0,19	0,8	0,02	1.165
	A2	1,7	5,6	0,19	0,8	0,02	1.165
	B1	1,9	6,2	0,22	0,9	0,02	1.294
	B2	1,9	7,6	0,24	0,9	0,02	1.537
Euro III	A1	1,2	3,9	0,14	0,6	0,02	1.036
	A2	1,2	3,9	0,14	0,6	0,02	1.036
	B1	1,3	4,4	0,15	0,6	0,02	1.152
	B2	1,3	5,4	0,17	0,6	0,02	1.537
	C2	1,3	6,1	0,19	0,6	0,03	1.580

TABLA 65: FACTORES DE EMISIÓN DE BUSES. FUENTE: MMA.

XI. Emisiones de Contaminantes

Las emisiones de contaminantes que se evitan por la flota de buses que deja de circular debido al proyecto son:

Año	BATUCO				MALLOCO			
	MP2,5 [ton]	NOX [ton]	SOX [ton]	HC [ton]	MP2,5 [ton]	NOX [ton]	SOX [ton]	HC [ton]
2017	0,13	3,67	0,02	0,08	0,18	5,12	0,03	0,1
2018	0,14	3,91	0,02	0,08	0,19	5,19	0,03	0,11
2019	0,15	4,16	0,02	0,09	0,19	5,27	0,03	0,11
2020	0,16	4,43	0,02	0,09	0,19	5,35	0,03	0,11
2021	0,17	4,72	0,02	0,1	0,2	5,43	0,03	0,11
2022	0,18	5,03	0,03	0,1	0,2	5,51	0,03	0,11
2023	0,19	5,36	0,03	0,11	0,2	5,57	0,03	0,11
2024	0,21	5,72	0,03	0,12	0,2	5,62	0,03	0,12
2025	0,22	6,09	0,03	0,12	0,2	5,68	0,03	0,12
2026	0,23	6,29	0,03	0,13	0,21	5,74	0,03	0,12
2027	0,23	6,5	0,03	0,13	0,21	5,79	0,03	0,12
2028	0,24	6,71	0,03	0,14	0,21	5,85	0,03	0,12
2029	0,25	6,93	0,04	0,14	0,21	5,91	0,03	0,12
2030	0,26	7,16	0,04	0,15	0,21	5,97	0,03	0,12
2031	0,27	7,39	0,04	0,15	0,22	6,03	0,03	0,12
2032	0,27	7,63	0,04	0,16	0,22	6,09	0,03	0,12
2033	0,28	7,88	0,04	0,16	0,22	6,15	0,03	0,13
2034	0,29	8,14	0,04	0,17	0,22	6,21	0,03	0,13
2035	0,30	8,41	0,04	0,17	0,23	6,28	0,03	0,13
2036	0,30	8,41	0,04	0,17	0,23	6,34	0,03	0,13
2037	0,30	8,41	0,04	0,17	0,23	6,34	0,03	0,13
2038	0,30	8,41	0,04	0,17	0,23	6,34	0,03	0,13
2039	0,30	8,41	0,04	0,17	0,23	6,34	0,03	0,13
2040	0,30	8,41	0,04	0,17	0,23	6,34	0,03	0,13
2041	0,30	8,41	0,04	0,17	0,23	6,34	0,03	0,13
2042	0,30	8,41	0,04	0,17	0,23	6,34	0,03	0,13
2043	0,30	8,41	0,04	0,17	0,23	6,34	0,03	0,13
2044	0,30	8,41	0,04	0,17	0,23	6,34	0,03	0,13
2045	0,30	8,41	0,04	0,17	0,23	6,34	0,03	0,13
2046	0,30	8,41	0,04	0,17	0,23	6,34	0,03	0,13

TABLA 66: EMISIONES DE CONTAMINANTES QUE SE EVITAN POR EL PROYECTO EN TON. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

XII. Concentración de Contaminantes

A continuación, las concentraciones de contaminantes que se evitan con el proyecto

Año	BATUCO		MALLOCO	
	MP2,5	O3	MP2,5	O3
2017	2,94	0,06	4,1	0,08
2018	3,13	0,06	4,16	0,08
2019	3,34	0,07	4,23	0,08
2020	3,55	0,07	4,29	0,08
2021	3,79	0,07	4,35	0,09
2022	4,04	0,08	4,42	0,09
2023	4,3	0,08	4,46	0,09
2024	4,58	0,09	4,51	0,09
2025	4,88	0,1	4,55	0,09
2026	5,04	0,1	4,6	0,09
2027	5,21	0,1	4,65	0,09
2028	5,38	0,11	4,69	0,09
2029	5,55	0,11	4,74	0,09
2030	5,74	0,11	4,79	0,09
2031	5,92	0,12	4,83	0,10
2032	6,12	0,12	4,88	0,10
2033	6,32	0,12	4,93	0,10
2034	6,53	0,13	4,98	0,10
2035	6,74	0,13	5,03	0,10
2036	6,74	0,13	5,08	0,10
2037	6,74	0,13	5,08	0,10
2038	6,74	0,13	5,08	0,10
2039	6,74	0,13	5,08	0,10
2040	6,74	0,13	5,08	0,10
2041	6,74	0,13	5,08	0,10
2042	6,74	0,13	5,08	0,10
2043	6,74	0,13	5,08	0,10
2044	6,74	0,13	5,08	0,10
2045	6,74	0,13	5,08	0,10
2046	6,74	0,13	5,08	0,10

TABLA 67: CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES QUE SE EVITAN DEBIDO AL PROYECTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

XIII. Costos de Accidentabilidad

A continuación los costos por accidentabilidad en ambos tramos del proyecto:

Año	TREN Batuco		BUSES		Beneficio Total CH Batuco [UF]	Beneficio Total VE Batuco[UF]
	Costo Total CH [UF]	Costo Total VE [UF]	Beneficio Batuco CH	Beneficio Batuco VE		
2013					-	-
2014					-	-
2015					-	-
2016					-	-
2017	-7.192,42	-30.867,04	8.156,48	27.252,66	964,06	-3.614,38
2018	-7.192,42	-30.867,04	8.691,04	29.038,75	1.498,62	-1.828,29
2019	-7.192,42	-30.867,04	9.260,63	30.941,89	2.068,21	74,85
2020	-7.192,42	-30.867,04	9.867,55	32.969,76	2.675,13	2.102,72
2021	-7.192,42	-30.867,04	10.514,25	35.130,53	3.321,83	4.263,49
2022	-7.192,42	-30.867,04	11.203,34	37.432,91	4.010,92	6.565,87
2023	-7.192,42	-30.867,04	11.937,58	39.886,19	4.745,16	9.019,15
2024	-7.192,42	-30.867,04	12.719,95	42.500,25	5.527,53	11.633,21
2025	-7.192,42	-30.867,04	13.553,59	45.285,63	6.361,17	14.418,59
2026	-7.192,42	-30.867,04	13.997,72	46.769,60	6.805,30	15.902,56
2027	-7.192,42	-30.867,04	14.456,41	48.302,19	7.263,99	17.435,15
2028	-7.192,42	-30.867,04	14.930,14	49.885,01	7.737,72	19.017,97
2029	-7.192,42	-30.867,04	15.419,38	51.519,69	8.226,96	20.652,65
2030	-7.192,42	-30.867,04	15.924,66	53.207,93	8.732,24	22.340,89
2031	-7.192,42	-30.867,04	16.446,50	54.951,51	9.254,08	24.084,47
2032	-7.192,42	-30.867,04	16.985,43	56.752,21	9.793,01	25.885,17
2033	-7.192,42	-30.867,04	17.542,03	58.611,92	10.349,61	27.744,88
2034	-7.192,42	-30.867,04	18.116,86	60.532,58	10.924,44	29.665,54
2035	-7.192,42	-30.867,04	18.710,53	62.516,17	11.518,11	31.649,13
2036	-7.192,42	-30.867,04	18.710,53	62.516,17	11.518,11	31.649,13
2037	-7.192,42	-30.867,04	18.710,53	62.516,17	11.518,11	31.649,13
2038	-7.192,42	-30.867,04	18.710,53	62.516,17	11.518,11	31.649,13
2039	-7.192,42	-30.867,04	18.710,53	62.516,17	11.518,11	31.649,13
2040	-7.192,42	-30.867,04	18.710,53	62.516,17	11.518,11	31.649,13
2041	-7.192,42	-30.867,04	18.710,53	62.516,17	11.518,11	31.649,13
2042	-7.192,42	-30.867,04	18.710,53	62.516,17	11.518,11	31.649,13
2043	-7.192,42	-30.867,04	18.710,53	62.516,17	11.518,11	31.649,13
2044	-7.192,42	-30.867,04	18.710,53	62.516,17	11.518,11	31.649,13
2045	-7.192,42	-30.867,04	18.710,53	62.516,17	11.518,11	31.649,13

2046	-7.192,42	-30.867,04	18.710,53	62.516,17	11.518,11	31.649,13
-------------	-----------	------------	-----------	-----------	-----------	-----------

TABLA 68: COSTOS DE ACCIDENTABILIDAD EN TRAMO MAPOCHO – BATUCO, DIFERENCIADOS POR HC Y VSL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Año	TREN Malloco		BUSES		Beneficio Total CH Malloco [UF]
	Costo Total CH [UF]	Costo Total VE [UF]	Beneficio Malloco CH	Beneficio Malloco VE	
2013					-
2014					-
2015					-
2016					-
2017	-7.192,42	-30.867,04	241,17	678,74	-6.951,25
2018	-7.192,42	-30.867,04	244,79	688,92	-6.947,63
2019	-7.192,42	-30.867,04	248,46	699,25	-6.943,96
2020	-7.192,42	-30.867,04	252,18	709,74	-6.940,24
2021	-7.192,42	-30.867,04	255,97	720,39	-6.936,45
2022	-7.192,42	-30.867,04	259,81	731,19	-6.932,61
2023	-7.192,42	-30.867,04	262,40	738,50	-6.930,02
2024	-7.192,42	-30.867,04	265,03	745,89	-6.927,39
2025	-7.192,42	-30.867,04	267,68	753,35	-6.924,74
2026	-7.192,42	-30.867,04	270,36	760,88	-6.922,06
2027	-7.192,42	-30.867,04	273,06	768,49	-6.919,36
2028	-7.192,42	-30.867,04	275,79	776,17	-6.916,63
2029	-7.192,42	-30.867,04	278,55	783,94	-6.913,87
2030	-7.192,42	-30.867,04	281,33	791,78	-6.911,09
2031	-7.192,42	-30.867,04	284,15	799,69	-6.908,27
2032	-7.192,42	-30.867,04	286,99	807,69	-6.905,43
2033	-7.192,42	-30.867,04	289,86	815,77	-6.902,56
2034	-7.192,42	-30.867,04	292,76	823,92	-6.899,66
2035	-7.192,42	-30.867,04	295,68	832,16	-6.896,74
2036	-7.192,42	-30.867,04	298,64	840,49	-6.893,78
2037	-7.192,42	-30.867,04	301,63	848,89	-6.890,79
2038	-7.192,42	-30.867,04	301,63	848,89	-6.890,79
2039	-7.192,42	-30.867,04	301,63	848,89	-6.890,79
2040	-7.192,42	-30.867,04	301,63	848,89	-6.890,79
2041	-7.192,42	-30.867,04	301,63	848,89	-6.890,79
2042	-7.192,42	-30.867,04	301,63	848,89	-6.890,79
2043	-7.192,42	-30.867,04	301,63	848,89	-6.890,79

2044	-7.192,42	-30.867,04	301,63	848,89	-6.890,79
2045	-7.192,42	-30.867,04	301,63	848,89	-6.890,79
2046	-7.192,42	-30.867,04	301,63	848,89	-6.890,79

TABLA 69: COSTOS DE ACCIDENTABILIDAD EN TRAMO ALAMEDA – MALLOCO, DIFERENCIADOS POR CH Y CSL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

XIV. Costos de Cambio Climático

A continuación los costos asociados a cambio climático del proyecto separados por tramos Mapocho – Bатуco y Alameda – Malloco respectivamente:

Año	Beneficio bus [UF]	Costo Tren [UF]	Costo Total [UF]
2013	-	-	-
2014	-	-	-
2015	-	-	-
2016	-	-	-
2017	44,52	-615,33	-570,81
2018	47,44	-646,82	-599,38
2019	50,55	-659,66	-609,11
2020	53,86	-652,73	-598,86
2021	57,39	-652,73	-595,33
2022	61,15	-685,35	-624,19
2023	65,16	-685,35	-620,19
2024	69,43	-677,65	-608,22
2025	73,98	-677,65	-603,67
2026	76,41	-669,21	-592,80
2027	78,91	-669,21	-590,30
2028	81,50	-648,29	-566,80
2029	84,17	-617,42	-533,25
2030	86,92	-617,42	-530,50
2031	89,77	-596,13	-506,36
2032	92,72	-585,04	-492,32
2033	95,75	-563,37	-467,62
2034	98,89	-541,70	-442,81
2035	102,13	-541,70	-439,57
2036	102,13	-498,37	-396,24
2037	102,13	-455,03	-352,90
2038	102,13	-411,69	-309,56
2039	102,13	-411,69	-309,56
2040	102,13	-433,36	-331,23
2041	102,13	-411,69	-309,56
2042	102,13	-411,69	-309,56
2043	102,13	-411,69	-309,56
2044	102,13	-411,69	-309,56

2045	102,13	-433,36	-331,23
2046	102,13	-433,36	-331,23

TABLA 70: COSTOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN TRAMO MAPOCHO – BATUCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Año	Beneficio bus [UF]	Costo Tren [UF]	Costo total [UF]
2013	-	-	-
2014	-	-	-
2015	-	-	-
2016	-	-	-
2017	62,17	-1.464,94	-1.402,76
2018	63,11	-1.509,33	-1.446,22
2019	64,05	-1.509,33	-1.445,28
2020	65,01	-1.464,94	-1.399,92
2021	65,99	-1.464,94	-1.398,95
2022	66,98	-1.509,33	-1.442,35
2023	67,65	-1.509,33	-1.441,68
2024	68,32	-1.464,94	-1.396,61
2025	69,01	-1.591,95	-1.522,95
2026	69,7	-1.543,71	-1.474,01
2027	70,39	-1.543,71	-1.473,32
2028	71,1	-1.495,47	-1.424,37
2029	71,81	-1.398,99	-1.327,18
2030	72,53	-1.398,99	-1.326,46
2031	73,25	-1.350,75	-1.277,50
2032	73,99	-1.302,51	-1.228,52
2033	74,73	-1.254,27	-1.179,54
2034	75,47	-1.206,03	-1.130,55
2035	76,23	-1.206,03	-1.129,80
2036	76,99	-1.109,54	-1.032,55
2037	77,76	-1.013,06	-935,3
2038	77,76	-916,58	-838,82
2039	77,76	-916,58	-838,82
2040	77,76	-964,82	-887,06
2041	77,76	-916,58	-838,82
2042	77,76	-916,58	-838,82
2043	77,76	-916,58	-838,82
2044	77,76	-916,58	-838,82

2045	77,76	-964,82	-887,06
2046	77,76	-964,82	-887,06

TABLA 71: COSTOS POR CAMBIO CLIMÁTICO EN TRAMO ALAMEDA – MALLOCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

XV. Beneficios de Contaminación Atmosférica

A continuación los beneficios por contaminación atmosférica separados por tramos:

Año	O3 [UF]	MP2,5 [UF]	TOTAL [UF]
2013			-
2014			-
2015			-
2016			-
2017	287,65	11.331,86	11.619,52
2018	309,55	12.242,06	12.551,61
2019	333,14	13.229,52	13.562,66
2020	358,54	14.301,23	14.659,77
2021	385,90	15.464,85	15.850,74
2022	415,37	16.728,74	17.144,11
2023	447,12	18.102,13	18.549,24
2024	481,32	19.595,10	20.076,42
2025	518,18	21.218,75	21.736,92
2026	540,73	22.275,13	22.815,86
2027	564,31	23.392,35	23.956,66
2028	588,95	24.574,40	25.163,35
2029	614,72	25.825,54	26.440,26
2030	641,66	27.150,36	27.792,01
2031	669,83	28.553,77	29.223,59
2032	699,29	30.041,03	30.740,32
2033	730,11	31.617,80	32.347,91
2034	762,35	33.290,14	34.052,49
2035	796,09	35.064,56	35.860,65
2036	805,01	35.767,96	36.572,97
2037	814,10	36.499,51	37.313,62
2038	823,38	37.260,48	38.083,86
2039	832,84	38.052,15	38.884,99
2040	842,50	38.875,87	39.718,37
2041	852,35	39.733,07	40.585,42
2042	862,42	40.625,22	41.487,63
2043	872,69	41.553,86	42.426,56
2044	883,19	42.520,61	43.403,81
2045	893,92	43.527,16	44.421,08
2046	904,89	44.575,26	45.480,14

TABLA 72: BENEFICIOS POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN TRAMO MAPOCHO – BATUCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Año	O3 [UF]	MP2,5 [UF]	TOTAL
2013			-
2014			
2015			-
2016			
2017	378,29	14.544,82	14.923,11
2018	387,67	14.943,16	15.330,83
2019	397,30	15.356,52	15.753,82
2020	407,19	15.785,61	16.192,80
2021	417,34	16.231,22	16.648,57
2022	427,77	16.694,17	17.121,94
2023	436,31	17.090,38	17.526,70
2024	445,06	17.501,18	17.946,23
2025	454,00	17.927,26	18.381,26
2026	463,14	18.369,36	18.832,51
2027	472,50	18.828,27	19.300,77
2028	482,07	19.304,80	19.786,87
2029	491,87	19.799,81	20.291,68
2030	501,89	20.314,22	20.816,11
2031	512,15	20.848,98	21.361,13
2032	522,66	21.405,10	21.927,76
2033	533,42	21.983,64	22.517,06
2034	544,44	22.585,72	23.130,16
2035	555,72	23.212,53	23.768,25
2036	567,28	23.865,30	24.432,59
2037	573,40	24.301,16	24.874,55
2038	579,62	24.754,04	25.333,66
2039	585,96	25.224,69	25.810,65
2040	592,42	25.713,90	26.306,32
2041	599,00	26.222,49	26.821,48
2042	605,70	26.751,29	27.357,00
2043	612,54	27.301,21	27.913,75
2044	619,52	27.873,17	28.492,69
2045	626,63	28.468,15	29.094,78
2046	633,89	29.087,16	29.721,05

TABLA 73: BENEFICIOS POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN TRAMO ALAMEDA – MALLOCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.