

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: EFE	23
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