



METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE PROYECTOS DE TRANSPORTE FERROVIARIO

2016

Ministerio de Desarrollo Social

División de Evaluación Social de Inversiones

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	10
1.1	Antecedentes	10
1.2	Contenido y alcance del manual	11
2	CRITERIOS GENERALES PARA LA FORMULACION DE PROYECTOS FERROVIARIOS.....	14
2.1	Justificación del proyecto.....	14
2.2	Proceso de toma de decisiones.....	15
2.3	Área de Estudio	17
2.4	Zonificación.....	18
2.5	Periodización.....	18
2.6	Segmentación de la demanda en proyectos de pasajeros.....	19
2.6.1	<i>Propósito de viaje</i>	<i>19</i>
2.6.2	<i>Nivel de Ingreso y otros</i>	<i>19</i>
2.7	Tipología de productos en proyectos de carga	19
2.8	Modos de Transporte.....	20
2.9	Definición de vida útil y valor residual.....	20
2.10	Definición de estándares tecnológicos e interoperabilidad.....	21
2.11	Definición de etapas del proyecto	22
2.11.1	<i>Etapla Perfil</i>	<i>22</i>
2.11.1.1	<i>Topografía</i>	<i>22</i>
2.11.1.2	<i>Hidrología</i>	<i>23</i>
2.11.1.3	<i>Geología y suelos.....</i>	<i>23</i>
2.11.1.4	<i>Expropiaciones, servidumbres y adquisición de terrenos</i>	<i>24</i>
2.11.1.5	<i>Vías existentes</i>	<i>24</i>
2.11.2	<i>Etapla de Prefactibilidad</i>	<i>24</i>
2.11.2.1	<i>Topografía</i>	<i>25</i>
2.11.2.2	<i>Hidrología</i>	<i>25</i>
2.11.2.3	<i>Geología y suelos.....</i>	<i>25</i>
2.11.2.4	<i>Expropiaciones, servidumbres y adquisición de terrenos</i>	<i>26</i>
2.11.2.5	<i>Vías existentes</i>	<i>26</i>
2.11.3	<i>Proyectos que incluyen equipo rodante</i>	<i>26</i>
2.11.3.1	<i>Material rodante nuevo y reconstruido</i>	<i>26</i>
2.11.3.2	<i>Rehabilitación de material rodante existente</i>	<i>27</i>
2.12	Impactos externos del proyecto	27

2.13	Proyectos complementarios y visión multimodal	28
2.14	Análisis Ex – Post	29
3	TIPOLOGIAS DE PROYECTOS FERROVIARIOS	30
3.1	Proyectos ferroviarios según aspectos técnicos de diseño	30
3.1.1	<i>Alcance y nivel de detalle de los proyectos técnicos.....</i>	<i>30</i>
3.1.2	<i>Naturaleza del proyecto</i>	<i>31</i>
3.1.2.1	<i>Tipos de proyectos ferroviarios</i>	<i>31</i>
3.1.2.2	<i>Proyectos de transporte de pasajeros</i>	<i>31</i>
3.1.2.3	<i>Proyectos de transporte de carga</i>	<i>32</i>
3.1.2.4	<i>Proyectos de Tráfico Mixto</i>	<i>34</i>
3.2	Proyectos ferroviarios para efectos de la metodología de evaluación.....	35
3.2.1	<i>Proyecto tipo I</i>	<i>36</i>
3.2.2	<i>Proyectos tipo II.....</i>	<i>37</i>
3.2.3	<i>Proyectos Tipo III.....</i>	<i>38</i>
4	ANÁLISIS DE LA DEMANDA	39
4.1	Análisis conceptual de la demanda.....	39
4.2	Demanda por tipo de proyectos.....	41
4.2.1	<i>Proyectos de pasajeros</i>	<i>42</i>
4.2.2	<i>Proyectos de Carga.....</i>	<i>42</i>
5	ANÁLISIS DE LA OFERTA	44
5.1	Red Vial.....	44
5.2	Red Ferroviaria.....	49
5.3	Variables de Servicio modos Competitivos	54
6	SITUACIÓN SIN PROYECTO	56
7	COSTOS DE INVERSIÓN, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN	58
7.1	Costos de inversión	58
7.1.1	<i>Elementos básicos de los costos de inversión de infraestructura.....</i>	<i>58</i>
7.1.2	<i>Infraestructura en los estudios de perfil</i>	<i>59</i>
7.1.3	<i>Infraestructura en los estudios de prefactibilidad (anteproyecto)</i>	<i>60</i>
7.1.4	<i>Proyectos que incluyen equipos rodantes nuevos o reconstruidos</i>	<i>60</i>
7.1.5	<i>Rehabilitación de material rodante existente</i>	<i>60</i>
7.2	Costos de operación y mantenimiento ferroviario	61

7.2.1	Costos operacionales directos	61
7.2.1.1	Costos de energía	61
7.2.1.2	Personal de trenes	63
7.2.1.3	Mantenimiento del equipo rodante	64
7.2.1.4	Otros costos operacionales directos	66
7.2.2	Costos operacionales de infraestructura	66
7.2.2.1	Mantenimiento de la vía férrea.....	66
7.2.2.2	Mantenimiento de puentes y obras de arte.....	67
7.2.2.3	Mantenimiento de la electrificación	67
7.2.2.4	Mantenimiento de la señalización y comunicaciones	68
7.2.2.5	Movilización de trenes.....	69
7.2.2.6	Operación de estaciones	69
7.2.2.7	Mantenimiento de edificios	70
7.2.3	Costos de estructura	70
7.2.3.1	Gastos de administración.....	70
7.2.3.2	Servicios generales	71
7.2.3.3	Depreciación de trenes.....	71
7.2.3.4	Seguros	71
7.3	Costos de operación y mantenimiento vial	71
7.3.1	Costos de Operación	71
7.3.1.1	Costos variables	71
7.3.1.2	Costos fijos	72
7.3.2	Costos de Mantenimiento Vial.....	74
7.4	Costos de Accidentes	75
7.4.1	General.....	75
7.4.2	Costos Unitarios de Accidentes.....	76
7.4.2.1	Vector Social de Costos de Accidentes.....	76
7.4.2.2	Actualización Vector de Costos de Accidentes	77
7.4.3	Determinación de Costos de Accidentes	78
7.4.3.1	Costos Accidentes Viales	79
7.4.3.2	Determinación de Costos de Accidentes Ferroviarios.....	88
8	ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS.....	90
8.1	Beneficios por Consumo de Recursos	91
8.1.1	Tiempo de Viaje	91
8.1.2	Costos de Operación	93
8.1.3	Tamaños de Flota Requeridos	94
8.1.3.1	Reducción de flota de buses y camiones	94
8.1.3.2	Reducción de flota ferroviaria.....	94

8.1.4	<i>Costos de mantenimiento de la infraestructura</i>	97
8.1.5	<i>Accidentes</i>	97
9	ANALISIS DE RENTABILIDAD	98
9.1	Proyección de Beneficios.....	99
9.2	Cortes Temporales.....	100
9.3	Horizonte de evaluación.....	100
9.4	Tasa de descuento social.....	101
9.5	Los Precios Sociales	101
9.6	Valor residual de las inversiones	105
9.6.1	<i>Proyectos que continúan en condiciones similares después del período de evaluación</i>	106
9.6.2	<i>Proyectos que terminan en el período de evaluación</i>	108
9.7	Indicadores de Rentabilidad	109
9.7.1	<i>Tasa de rentabilidad inmediata (TRI)</i>	109
9.7.2	<i>Valor Actualizado Neto (VAN)</i>	111
9.7.3	<i>Tasa interna de retorno (TIR)</i>	111
9.7.4	<i>Relación Beneficio – Costo (B/C)</i>	111
9.7.5	<i>Indicador IVAN</i>	112
9.8	Análisis de Sensibilidad.....	112
9.8.1	<i>Tipos de Evaluación</i>	112
9.8.2	<i>Sensibilización según estimación de costos y beneficios</i>	112
10	EXTERNALIDADES	113
10.1	Propuesta de consideración de costos externos.....	114
10.1.1	<i>Costos de accidentes</i>	115
10.1.2	<i>Cambio climático</i>	115
10.1.3	<i>Costos por naturaleza y paisaje</i>	115
10.1.4	<i>Costos externos en áreas sensibles</i>	116
10.1.5	<i>Costos de dependencia energética</i>	116
10.2	Tabla de Impactos.....	117
11	EVALUACIÓN PRIVADA	120
11.1	Proyectos Ferroviarios de Pasajeros	121
11.2	Proyectos Ferroviarios de Carga	123

12	ANÁLISIS DE RIESGO	125
12.1	Fuentes de incertidumbre en el cálculo del VAN.	125
12.2	Variables Aleatorias.....	126
12.3	Simulaciones	127
13	CONSIDERACIONES FINALES.....	129
14	BIBLIOGRAFÍA.....	131
15	ANEXO A: Diseño físico de proyectos ferroviarios	133
15.1	Diseño de la infraestructura.....	133
15.1.1	<i>General.....</i>	<i>133</i>
15.1.2	<i>Requerimientos normativos técnicos mínimos.....</i>	<i>133</i>
15.1.3	<i>Parámetros de diseño recomendados</i>	<i>133</i>
15.1.3.1	<i>Trocha.....</i>	<i>133</i>
15.1.3.2	<i>Radios de curvas</i>	<i>133</i>
15.1.3.3	<i>Rampas y acordamientos verticales.....</i>	<i>134</i>
15.1.3.4	<i>Perfiles de riel</i>	<i>135</i>
15.1.3.5	<i>Cargas máximas por eje y totales</i>	<i>135</i>
15.1.3.6	<i>Gálidos y entrevías.....</i>	<i>136</i>
15.1.3.7	<i>Cruces a nivel</i>	<i>136</i>
15.1.3.8	<i>Otros parámetros de diseño de vías</i>	<i>136</i>
15.1.3.9	<i>Electrificación.....</i>	<i>137</i>
15.1.3.10	<i>Señalización y Comunicaciones.....</i>	<i>137</i>
15.2	Diseño de los equipos rodantes	138
15.2.1	<i>General.....</i>	<i>138</i>
15.2.2	<i>Requerimientos normativos técnicos.....</i>	<i>138</i>
15.2.2.1	<i>Rodado.....</i>	<i>138</i>
15.2.2.2	<i>Peso por eje y peso total</i>	<i>138</i>
15.2.2.3	<i>Enganches</i>	<i>138</i>
15.2.2.4	<i>Resistencia estructural</i>	<i>138</i>
15.2.2.5	<i>Transporte de productos peligrosos.....</i>	<i>138</i>
15.2.2.6	<i>Gálidos.....</i>	<i>139</i>
15.2.2.7	<i>Emisiones de gases</i>	<i>139</i>
15.2.2.8	<i>Emisiones de ruido</i>	<i>139</i>
15.2.3	<i>Parámetros de diseño recomendados</i>	<i>140</i>
15.2.3.1	<i>Capacidad óptima del equipo</i>	<i>140</i>
15.2.3.2	<i>Velocidad o velocidades de circulación</i>	<i>140</i>

16	ANEXO B: Diseño operacional de proyectos ferroviarios.....	142
16.1	General.....	142
16.2	Dimensionamiento de la flota	142
16.2.1	General.....	142
16.2.2	Dimensionamiento de la oferta en los servicios de pasajeros.....	142
16.2.2.1	Tiempo de viaje	142
16.2.2.2	Frecuencia	142
16.2.2.3	Acomodaciones	142
16.2.2.4	Ocupación de los vehículos	142
16.2.2.5	Parque adicional	143
16.2.3	Dimensionamiento de la oferta en los servicios de carga.....	143
16.2.3.1	Volúmenes por transportar	143
16.2.3.2	Tipo de producto	143
16.2.3.3	Distancias, tiempos de viaje y ciclos de rotación.....	143
16.2.3.4	Frecuencias	143
16.2.3.5	Tamaño de los trenes	143
16.2.3.6	Parque adicional	144
16.3	Programas de tráfico.....	144
16.4	Aspectos de seguridad.....	144
17	ANEXO C: Parámetros funciones flujo-tiempo trenes de carga.....	147
18	ANEXO D: Parámetros funciones de consumos energéticos	151
18.1	Función de consumo Trenes de Pasajeros	151
18.2	Función de consumo Trenes de Carga	154
19	ANEXO E: Análisis de Demanda.....	158
19.1	Requerimientos de información para la estimación de la demanda.....	158
19.1.1	Antecedentes demográficos.....	158
19.1.2	Antecedentes socioeconómicos	158
19.1.3	Antecedentes de equipamiento	158
19.1.4	Antecedentes oferta turística	159
19.1.5	Actividades productivas.....	159
19.2	Enfoques de estimación de demanda.....	160
19.3	Estimación de Demanda en Proyectos Tipo I.....	161
19.3.1	Etapa de perfil	161
19.3.1.1	Clasificación de la demanda	161
19.3.1.2	Estimación de la demanda en la situación actual	161

19.3.1.3	Enfoque de estimación de modelos de proyección de la demanda	161
19.3.1.4	Enfoque de modelación de la partición modal	162
19.3.1.5	Enfoque de modelación de la asignación de viajes	162
19.3.1.6	Fuentes de Información Consideradas	162
19.3.2	Etapas de prefactibilidad.....	162
19.3.2.1	Clasificación de la demanda	162
19.3.2.2	Estimación de la demanda en la situación actual	163
19.3.2.3	Enfoque de estimación de modelos de proyección de la demanda	163
19.3.2.4	Enfoque de modelación de la partición modal	163
19.3.2.5	Enfoque de modelación de la asignación de viajes	163
19.3.2.6	Fuentes de Información Consideradas	163
19.4	Estimación de Demanda en Proyectos Tipo II.....	164
19.4.1	Etapas de perfil	164
19.4.1.1	Clasificación de la demanda	164
19.4.1.2	Estimación de la demanda en la situación actual	164
19.4.1.3	Enfoque de estimación de modelos de proyección de la demanda	165
19.4.1.4	Enfoque de modelación de la partición modal	165
19.4.1.5	Enfoque de modelación de la asignación de viajes	166
19.4.1.6	Fuentes de Información Consideradas	166
19.4.2	Etapas de prefactibilidad.....	167
19.4.2.1	Clasificación de la demanda	167
19.4.2.2	Estimación de la demanda en la situación actual	167
19.4.2.3	Enfoque de estimación de modelos de proyección de la demanda	168
19.4.2.4	Enfoque de modelación de la partición modal	168
19.4.2.5	Enfoque de modelación de la asignación de viajes	168
19.4.2.6	Fuentes de Información Consideradas	169
19.5	Estimación de Demanda en Proyectos Tipo III.....	169
19.5.1	Etapas de Perfil	169
19.5.1.1	Clasificación de la demanda	169
19.5.1.2	Estimación de la demanda en la situación actual	170
19.5.1.3	Enfoque de estimación de modelos de proyección de la demanda	171
19.5.1.4	Enfoque de modelación de la partición modal	171
19.5.1.5	Enfoque de modelación de la asignación de viajes	172
19.5.1.6	Fuentes de Información Consideradas	172
19.5.2	Etapas de Prefactibilidad	172
19.5.2.1	Clasificación de la demanda	172
19.5.2.2	Estimación de la demanda en la situación actual	173
19.5.2.3	Enfoque de estimación de modelos de proyección de la demanda	173
19.5.2.4	Enfoque de modelación de la partición modal	174
19.5.2.5	Enfoque de modelación de la asignación de viajes	174

19.5.2.6	<i>Fuentes de Información Consideradas</i>	174
19.6	Resumen Enfoques de Estimación	175
19.7	Antecedentes de demanda existentes.....	177
19.7.1	<i>Información de Conteos de Tránsito</i>	177
19.7.2	<i>Matrices Origen Destino</i>	177
19.8	Estudios de tránsito y encuestas	178
19.8.1	<i>Conteos de Flujo</i>	178
19.8.2	<i>Encuestas Origen-Destino</i>	178
19.8.3	<i>Encuestas de preferencias</i>	186
19.8.3.1	<i>Encuestas de Preferencias Reveladas</i>	186
19.8.3.2	<i>Encuestas de preferencias declaradas</i>	187
19.8.4	<i>Duración de los períodos de medición</i>	188
20	ANEXO F: INFORMACIÓN DE ACCIDENTES	190
20.1	Accidentes ferroviarios	190
20.2	Accidentes viales	192

Ficha Resumen

Nombre Metodología	METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE PROYECTOS DE TRANSPORTE FERROVIARIO		
Sector	Transporte		
Subsector	Transporte Ferroviario		
Resumen	El presente Manual tiene como objetivo dar las pautas para formular y evaluar proyectos de transporte ferroviario, bajo el enfoque de costo beneficio, de manera de seleccionar las alternativas óptimas para cada problema identificado que requiera, entre otras alternativas, mejorar la conectividad utilizando el modo ferroviario, o bien para proyectos que mejoren los servicios, trazados y máquinas actuales.		
Proyectos a los que aplica	• Proyectos nuevos • Proyectos de rehabilitación o mejoramiento • Proyectos mixtos, que combinan la rehabilitación o mejoramiento de tramos existentes y la construcción de tramos nuevos • Proyectos de Transporte de Pasajeros • Proyectos de Transporte de Carga • Proyectos de Tráfico Mixto		
Marco Regulatorio	• LEY GENERAL DE FERROCARRILES LEY-18021 28.08.1981 • MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES D-212		
Fuentes de los Principales Datos	• Mediciones en Terreno. • Direcciones de Tránsito Municipales. • Encuestas EOD. • Datos económicos regionales. • Modelaciones y sistematización de datos de SECTRA.		
Principales Beneficios	• Reducción de tiempos de Viaje • Reducción de costos de operación. • Reducción e flota requerida. • Reducción de costos de operación y mantenimiento. • Reducción de externalidades		
Método Valorización Beneficios	Eficiencia, Disposición a pagar.	Horizonte de Evaluación (años)	20
Enfoque Evaluación	Costo Beneficio		
Indicador	<i>Nombre Indicador</i>	Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno	
	<i>Criterio de Decisión</i>	Mayor Valor Actual Neto.	

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Esta metodología es una adaptación del “Manual de Recomendaciones para el análisis técnico y evaluación social de proyectos de transporte ferroviario” (REDEDE) realizado por MIDEPLAN y SECTRA en 2010. Ésta entrega recomendaciones para el análisis técnico y evaluación social de proyectos de inversión pública en iniciativas que involucran sistemas ferroviarios de transporte interurbano y está dirigida a profesionales y técnicos encargados de formular y evaluar proyectos ferroviarios como apoyo al proceso de toma de decisiones de inversión desde la perspectiva del sector público. La evaluación de proyectos es una herramienta clave para la toma de decisiones responsable del desarrollo del sistema de transportes, tanto en el ámbito público como privado. Contar con metodologías adecuadas para dichas evaluaciones permitirá que las decisiones que se tomen lleven a inversiones en proyectos de calidad y beneficiosos para el país. La presente metodología es una guía para la preparación y evaluación de proyectos de transporte ferroviario.

El transporte ferroviario es visto internacionalmente como una solución eficiente, en determinadas circunstancias, para enfrentar problemas de transporte para altos niveles de pasajeros o carga. Los altos costos de inversión que involucra el modo ferroviario justifica la necesidad de contar con buenos métodos de evaluación que apoyen la toma de decisiones, destacándose en ellos una visión multimodal e integrada del sistema de transporte. Por lo anterior, este documento tiene por finalidad establecer una metodología para evaluar proyectos de inversión ferroviaria con el objetivo principal de entregar una herramienta que permita a los organismos públicos la realización de los análisis técnicos y la evaluación social de proyectos ferroviarios interurbanos en sus etapas de perfil y de prefactibilidad, conducentes a planificar eficientemente las inversiones en proyectos ferroviarios interurbanos en el país.

La metodología de análisis y evaluación que entrega el Manual, considera los siguientes objetivos específicos complementarios:

- a) **Identificación y clasificación de proyectos ferroviarios.** En función de sus características permite identificar y clasificar los tipos de proyectos ferroviarios que son objeto de esta metodología, según el tipo de impacto generado sobre el sistema de transporte, el tipo de demanda (pasajeros y/o carga) y las características del servicio ferroviario (velocidades, material rodante).
- b) **Desarrollo de metodologías de estimación de la demanda de los distintos tipos de proyectos.** Dirigido a especificar los procedimientos de análisis técnico y los requerimientos de modelación y simulación que permitan estimar adecuadamente la demanda de cada uno de los tipos de proyectos definidos.

- c) **Definición de requerimientos de información para el análisis técnico y evaluación de proyectos ferroviarios.** Se busca identificar el tipo y calidad de los datos requeridos para las distintas etapas de análisis y especificación de los procedimientos generales para recopilar la información.
- d) **Definición de metodologías de estimación de costos, beneficios y evaluación social para las distintas etapas (perfil y prefactibilidad) y tipos de proyectos.** Se definen los procedimientos adecuados para estimar los costos y beneficios de los proyectos y luego los indicadores de rentabilidad social correspondientes.

1.2 Contenido y alcance del manual

Es altamente recomendable constituir el equipo de evaluación desde el inicio del análisis del proyecto a evaluar y, en particular, revisar minuciosa y críticamente la pertinencia del proyecto en relación al problema que se busca resolver, así como su coherencia con las políticas, planes y programas que pertenecen a su ámbito y la definición de objetivos e indicadores que serán utilizados en la evaluación. Asimismo, identificar e involucrar tempranamente en la evaluación a los principales actores (instituciones, profesionales, proveedores, usuarios y otros) que puedan aportar a generar un mejor proyecto, a compartir tecnologías e información, eventualmente financiamiento y a lograr una mejor operación durante su vida útil. La mirada debe estar puesta en lograr implementar la mejor alternativa de proyecto, es decir, aquella que maximice su rentabilidad social.

Las metodologías sectoriales para evaluar socialmente los proyectos ferroviarios que se presentan en este documento se agrupan en función de una clasificación de los proyectos relacionada con los tipos de impactos sobre la demanda, así como por los beneficios o servicios que entregan. Por lo tanto, la primera actividad del evaluador será clasificar su proyecto en alguno de los tipos definidos, según se explica en el capítulo 3. Nótese que un mismo tipo de intervención implementada en contextos diferentes puede dar lugar a distintos tipos de impacto sobre la demanda y, por tanto, la clasificación del proyecto es distinta en cada caso.

Definido el tipo de proyecto que mejor se ajusta a la iniciativa que se desea evaluar, se deberá estudiar la metodología correspondiente y determinar los requerimientos de información y modelación necesarios según el nivel de análisis que se requiere: perfil o prefactibilidad. Una vez que se disponga de los antecedentes requeridos, el evaluador desarrollará los análisis indicados en la metodología asociada al tipo de proyecto identificado y que se describe en los capítulos subsiguientes. El resultado de los análisis será un conjunto de indicadores de rentabilidad social y de impactos del proyecto.

El documento ha sido construido en dos partes principales, las que agrupan a su vez diferentes capítulos. La primera parte expone los aspectos relevantes en relación a la formulación de los proyectos, mientras la segunda se enfoca en la evaluación. La metodología también recomienda como aspecto complementario a la evaluación de proyectos ferroviarios el desarrollo de análisis ex-post. Esto último debido a que el aprendizaje a partir de los beneficios y costos reales de los proyectos ejecutados

comparados con las estimaciones previas es una de las formas más utilizadas para perfeccionar las metodologías de evaluación. La aplicación de este tipo de análisis hace también particularmente recomendable la homogeneización de los reportes de evaluación, tanto en sus aspectos metodológicos como de información base, modelación y estimación de beneficios, costos e impactos.

Se presenta al final del documento diversos anexos con información técnica a utilizar para el diseño de proyectos de este tipo (Anexos A, B y C), con información sobre el consumo energético de los trenes (Anexo D), con información para la estimación de demanda (Anexo E) y con información sobre accidentabilidad (Anexo F).

PARTE I

FORMULACION DE PROYECTOS FERROVIARIOS

2 CRITERIOS GENERALES PARA LA FORMULACION DE PROYECTOS FERROVIARIOS

Una metodología de formulación y evaluación social de proyectos de inversión debe ser capaz de apoyar a los tomadores de decisiones en una óptima asignación de los recursos que se destine a inversión y, por lo tanto, una óptima selección de proyectos, en relación a objetivos definidos. Son varios los elementos que en las metodologías actuales se reconocen como válidos y necesarios para que esto suceda. La participación temprana del evaluador de proyectos en el proceso de identificación del problema y su solución a través de proyectos de inversión, la definición de objetivos, la identificación de alternativas y de la situación de referencia, la participación también temprana de los diversos actores que son afectados por un proyecto, la consistencia con las políticas nacionales y de transporte, la visión integrada y multimodal, el análisis de impactos de manera amplia, considerando impactos económicos y externalidades, son, entre otros, elementos que dan el contexto adecuado para un buen proceso de identificación y selección de proyectos.

Por otro lado, los proyectos ferroviarios presentan características técnicas que los diferencian de otros proyectos del sector transporte, que tienen que ver con características de su propia tecnología, su efecto de red tecnológicamente integrada, interoperabilidad, vida útil, valor residual y otros.

Complementariamente, la estandarización del proceso de evaluación de proyectos ferroviarios en todas sus etapas, representa una manera eficiente de poder comparar resultados de iniciativas similares desarrolladas en diferentes ambientes a nivel nacional e incluso internacional, disminuyendo riesgos en las predicciones de impactos y en la etapa de implementación.

2.1 Justificación del proyecto

La inversión con fondos públicos en un proyecto ferroviario debe justificarse como una opción de política pública que interviene el funcionamiento del mercado ferroviario y de transporte. Los tomadores de decisiones y quienes financian las inversiones deben tener un diagnóstico claro del problema de transporte que justifique la intervención, así como dejar explícitos los objetivos e indicadores con los cuales se identificarán y evaluarán las alternativas de proyecto.

Una buena identificación del problema significa conocer sus causas y sus efectos, fijar los fines que se persigue con la solución del problema y cuáles serán los medios a utilizar. Entre otros aspectos, deben considerarse los siguientes.

- Origen de las ideas de proyecto, que pueden provenir de la aplicación de una política de desarrollo, necesidades o carencias de grupos de personas, ineficiencias en el sistema de transporte que justifiquen inversiones que generen ahorro de recursos y muchos otros.

- Problema versus proyecto. Un problema en si, no es un proyecto. Un proyecto son cursos de acción que se originan a partir de un problema y dan respuesta a ese problema en forma racional. Esto implica el uso eficiente de los recursos disponibles
- Buena evaluación versus buen proyecto. Una buena evaluación de un proyecto no es garantía de que una vez implementado sea un proyecto exitoso. Si el proyecto no ha sido bien identificado y formulado, en el sentido de no ser la mejor respuesta al problema diagnosticado, sin duda no será exitoso. Por lo tanto un buen proyecto, no es necesariamente aquel que ha sido evaluado con las mejores técnicas de modelación y evaluación, sino aquel que ha sido bien formulado y en que las alternativas comparadas responden adecuadamente al problema y a los objetivos planteados en su solución.

2.2 Proceso de toma de decisiones

La etapa de definición e identificación de proyectos debe formar parte y ser consecuente con las etapas previas de un proceso de planificación integrada. La primera fase de este proceso es de definición de políticas y planes donde se especifican los objetivos globales del sistema. La segunda es la conformación de programas, donde se definen los presupuestos agregados por áreas temáticas del plan. La tercera fase es la de proyectos en que se definen las acciones o intervenciones específicas sobre el sistema.

En consecuencia, un aspecto importante de considerar al evaluar un proyecto específico es chequear la consistencia del proyecto con las políticas, planes y programas que le son atingentes. De esta forma se puede asegurar una mejor gestión integrada de proyectos y finalmente una mejor asignación de recursos.

La relación de jerarquía en las decisiones se representa entonces como sigue:

Políticas y planes	→	Programas	→	Proyectos
<i>Objetivos estratégicos</i>		<i>Objetivos específicos y Presupuestos</i>		<i>Acciones e intervenciones específicas</i>

En una etapa temprana de la evaluación de un proyecto se definen sus objetivos, los cuales además de los generales del sistema de transporte y del modo ferroviario en particular (definidos en la etapa de generación de políticas, planes y programas), pueden agregar objetivos propios relacionados con el proyecto (en relación con el o los problemas que busca solucionar).

En el caso ferroviario, deberá examinarse la participación de otras entidades del sector público que tienen relación con otros modos de transporte que son competitivos o complementarios. Con frecuencia será entonces un desafío para el formulador definir en etapas tempranas de análisis del proyecto cuáles serán los objetivos y restricciones que enfrentará la búsqueda de las soluciones más apropiadas y los criterios de evaluación.

La independencia del evaluador no significa que no se involucre en el proyecto. Se requiere que desde su inicio el evaluador se involucre en:

- a) Identificación de los actores relevantes del proyecto.
- b) Obtener de los actores un conjunto significativo de metas y objetivos para el proyecto y sus prioridades relativas.
- c) Obtener consenso en términos de qué medidas o indicadores reflejarán mejor el grado de éxito en alcanzar las metas priorizadas.
- d) Comunicar cambios en las metas, objetivos y medidas durante el avance del ciclo de vida del proyecto.
- e) Verificar que las condiciones que se definan para las situaciones base y/o con proyecto sean viables técnica, económica y políticamente, de tal manera que supuestos realizados no distorsionen los resultados de la evaluación.

Actores típicos de un proyecto ferroviario que involucre uso de fondos públicos, en el caso chileno son los siguientes.

- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (Subsecretaría de Transportes, Departamento Ferroviario)
- Ministerio de Obras Públicas
- Ministerio de Hacienda
- Ministerio de Desarrollo Social (SNI)
- Ministerio de Medioambiente
- Secretaría de Planificación del Transporte
- Regiones y Municipios involucrados
- Empresa de Ferrocarriles del Estado y/o filiales
- Empresas privadas de ferrocarriles
- Administradores de infraestructura
- Usuarios
- No usuarios (afectados por el proyecto)
- Otros actores: proveedores de equipos, propietarios de tierra, otros

Un aspecto que debe examinar el evaluador se refiere a la viabilidad financiera del proyecto, es decir que contará con los recursos para la ejecución de la inversión (públicos y/o privados) en todas sus etapas, así como la sustentabilidad financiera durante la operación del proyecto. Esto significa considerar las diferentes fuentes de ingresos (demanda, eventualmente subsidios, otros servicios) y los costos de mantenimiento, operación y otros durante la vida útil del proyecto.

Un rol de gran importancia del evaluador se refiere al reporte de la evaluación del proyecto. Los informes que contienen la experiencia del proceso de evaluación y que faciliten los análisis ex post de proyectos constituyen uno de los elementos claves para la

construcción e innovación en metodologías de evaluación. Es recomendable que se obtenga desde la etapa inicial del estudio con un presupuesto asignado para la ejecución de la evaluación ex – post del proyecto ferroviario.

2.3 Área de Estudio

La definición del área de estudio guarda estrecha relación con las características del proyecto en análisis. Una definición general es aquella área en donde se producirán cambios como resultado de la implementación del proyecto. En el caso de proyectos ferroviarios, los impactos pueden estar relacionados con uno o unos pocos pares origen destino específicos, un área geográfica mayor correspondiente a un corredor de transporte, pero que sólo se verifican impactos sobre los pares origen destino servidos por el ferrocarril y, en el caso más general, un área geográfica con múltiples pares origen destino, servidos o no por el ferrocarril, pero que a nivel de impactos se perciben en toda la red de transporte: vial, ferroviaria, aérea, etc. En el Anexo A

La definición del área de estudio en proyectos Tipo I puede estar constituida básicamente por el tramo ferroviario en análisis y los orígenes destino servidos por el ferrocarril en dicho tramo. En este caso el análisis de la demanda se centra en aquella actualmente servida por el ferrocarril y la oferta y modelación de costos operacionales y de mantenimiento, al tramo de vía en estudio.

En los proyectos Tipo II pueden existir dos casos. En el primero, si bien este tipo de proyectos generan impactos en la partición modal, el tratamiento puede estar centrado sólo en la demanda de interés, es decir: pasajeros o carga entre ciertos orígenes destino; pero que no se espera que existan impactos significativos sobre el resto de los usuarios de las redes de transporte. Un segundo caso será cuando se esperan impactos a nivel de la totalidad de la red de transporte en el territorio en donde se emplaza el proyecto, en que el análisis debe abarcar tanto a usuarios del ferrocarril, como a otros usuarios de las redes que pudieran verse impactados por el proyecto. En este caso, típicamente el área de estudio corresponderá a un área geográfica de gran tamaño (una región o macro región) que incluya la totalidad de la red de transporte que pudiera verse afectada por el proyecto. Los impactos sobre estos usuarios se producen básicamente por reasignación en las redes de transporte y variación de los niveles de congestión debido a los cambios en la partición modal, lo cual produce variaciones en los costos globales de transporte.

En el caso de los proyectos Tipo III, también pueden verificarse los dos casos anteriores, lo cual estará condicionado por los impactos esperados sobre la red de transporte en su conjunto.

2.4 Zonificación

Dos serán los criterios básicos para definir la zonificación del área de estudio. En primer lugar, dado que el ámbito del proyecto es interurbano, se debe considerar límites zonales coincidentes con divisiones administrativas, tales como: regiones, provincias, comunas, distritos censales. Este aspecto es relevante, por cuanto para la modelación de la demanda se requerirá levantar diversa información del sistema de actividades, producción, uso de suelo, demográficas, socio económicas, etc., la cual normalmente sólo está disponible para estos niveles de agregación.

El segundo criterio tiene relación con la conectividad de las zonas a las redes de transporte a ser modeladas: vial, ferroviaria, aérea. Especial atención se debe prestar en la representación de aquellas zonas que forman parte de los pares origen-destino servidos por el proyecto ferroviario, en donde la modelación de la demanda pudiera requerir una representación detallada de costos y tiempos de acceso a los distintos modos competitivos.

El proceso de zonificación puede reconocer zonas secundarias en el área de estudio o zonas externas, las cuales pueden ser modeladas con mayores niveles de agregación: macro regiones, regiones, provincias o agrupación de comunas. En el caso de las zonas internas de influencia directa del proyecto, normalmente la zonificación se basará en comunas o distritos censales.

2.5 Periodización

El proceso de periodización, correspondiente a la determinación de los períodos de análisis representativos de la operación anual y la determinación de los factores de expansión, se realizará normalmente a partir de información existente de conteos de tráfico continuos, tales como: plazas de peaje e instrumentos contadores clasificadores.

En el caso de los períodos, en primer lugar se debe considerar la existencia de temporadas del año, normalmente verano y época normal. Al interior de cada temporada, dada las características de los viajes interurbanos, especialmente su duración, la unidad temporal a utilizar será el día, por lo que se deben determinar los días representativos de una semana promedio de cada temporada, como por ejemplo, día laboral, día fin de semana.

En los estudios a nivel de perfil puede considerarse sólo la separación por temporadas, si se dispone de información, o trabajar a nivel de día promedio anual. En el caso de estudios de prefactibilidad y posteriores, se requerirá un mayor detalle, considerando temporadas y días representativos de la semana.

Nótese que lo expuesto corresponde a los alcances mínimos a ser considerados. En la definición de la periodización, se debe siempre tener presente el tipo de proyecto a ser evaluado. Por ejemplo, en el caso de un proyecto de servicio de trenes de pasajeros regional, podría requerirse un mayor detalle, debido a la mayor incidencia de viajes de

corta distancia, estableciendo períodos de menor extensión, cuando el análisis indica que el horario en que se realiza el viaje es muy relevante. Por el contrario, en ciertos proyectos de carga podría no ser relevante la definición de temporadas o días representativos.

En cuanto a la metodología para definir la periodización, métodos como el análisis de clusters o análisis de perfiles de flujo son apropiados.

2.6 Segmentación de la demanda en proyectos de pasajeros

2.6.1 Propósito de viaje

En el caso de estudios de proyectos de pasajeros, para la modelación de la demanda normalmente será necesario distinguir propósitos de viaje. En el ámbito interurbano, típicamente el propósito “Trabajo” aparecerá como el más importante. El propósito “Estudio” suele no ser de mucha relevancia, por lo que puede ser agrupado con otros propósitos tales como: compras, diligencias, visita de familiares, salud, etc., todos los cuales pueden quedar agrupados como “Otros”. En el caso del propósito turismo, se deberá analizar su real incidencia en la demanda de proyecto, en especial en la modelación de la época de verano, pudiendo considerarse en forma explícita o agregado con el propósito “Otros”. Nótese que no existe ninguna restricción que impida modelar una desagregación de propósitos distinta en época normal y de verano.

2.6.2 Nivel de Ingreso y otros

En los estudios de proyectos de pasajeros, para la modelación de la demanda será necesario establecer una segmentación de la demanda según nivel de ingreso de los usuarios. Normalmente será suficiente considerar 3 niveles de ingreso: alto, medio, bajo. Aunque también podría requerirse otras segmentaciones, tales como: quién costea el viaje, tamaño del grupo que viaja, disponibilidad de automóvil para viajar o requerimiento de automóvil en el destino. Este último concepto puede ser relevante en la decisión modal de los viajes con motivo “Turismo”.

2.7 Tipología de productos en proyectos de carga

Cuando sea necesaria la modelación global del sistema de transporte, a fin de establecer los impactos de un proyecto ferroviario específico sobre la red multimodal, será necesario modelar la demanda de carga y sus proyecciones en el área de estudio.

La gran heterogeneidad de los productos transportados hace compleja y costosa su modelación en detalle, debido a que los volúmenes a transportar y la distribución de cada producto dependen de diversas variables, muchas veces muy distintas en cada caso. Por ello, para la modelación de la demanda de carga a ser asignada a la red multimodal y su proyección en el tiempo, se deben hacer agregaciones que permitan un tratamiento más simplificado.

Estudios estratégicos interurbanos, como es el caso del Modelo ESTRASUR, poseen modelos de carga para del orden de 40 productos. En los casos en que el área de estudio del proyecto ferroviario analizado se localiza dentro de la cobertura espacial de un modelo estratégico existente, se puede considerar el uso de dichos modelos y con ello proyectar la carga en forma explícita.

En el caso de necesitar desarrollar modelos de generación – atracción – distribución para carga, se sugiere considerar en forma explícita e individual aquellos productos más relevantes (como podrían ser los productos forestales en el sur o minerales en el norte) y el resto a través de modelos más agregados. En general, se sugiere en este caso no trabajar con una desagregación mayor a unos 8 tipos de producto.

2.8 Modos de Transporte

Los modos de transporte a ser considerados en la modelación y evaluación de los proyectos ferroviarios interurbanos, serán aquellos que, por una parte, presenten competencia con el modo ferroviario por la demanda de interés del proyecto; y, por otra, se prevea que el proyecto, independiente de su naturaleza (pasajeros o carga), pudiera generar impactos sobre ellos.

A modo de ejemplo, un proyecto ferroviario de carga puede generar impactos sobre los modos viales de pasajeros a través de la reducción de la congestión de las vías debido al menor flujo de camiones.

Sin embargo, para considerar la modelación del modo se debe esperar que los impactos del proyecto sobre dicho modo sean significativos, ya que en caso contrario se comprometen mayores recursos para el estudio del proyecto, sin que ello tenga un impacto relevante en los resultados de la evaluación.

2.9 Definición de vida útil y valor residual

Como en otros aspectos mencionados, la definición de la vida útil y el valor residual constituye un aspecto particular en la evaluación de proyectos ferroviarios, dadas sus características tecnológicas.

La vida útil busca reflejar el período en el cual se recibirán mayoritariamente los beneficios e impactos del proyecto, sin perjuicio de que al finalizar este período se conserve un valor residual que represente los beneficios netos futuros en la mejor alternativa de continuidad del proyecto.

En relación al período de evaluación, se define en etapas posteriores del desarrollo metodológico el horizonte de evaluación de los proyectos ferroviarios, considerando la larga vida útil que pueden alcanzar, dadas sus características tecnológicas, en particular cuando se trata de proyectos de nuevos ferrocarriles, con trazados nuevos y en que se adquiere equipo también nuevo. La experiencia internacional muestra metodologías en que la vida útil puede alcanzar hasta 60 años. Ahora bien, dependiendo de la extensión, es que se deberá también examinar el valor residual. La definición metodológica de la

vida útil en un proyecto ferroviario debe reconocer las diferencias existentes entre las diferentes componentes de la infraestructura y el material rodante.

Por último, se debe tener presente que ciertos proyectos ferroviarios pueden extinguirse en un cierto período, por ejemplo, cuando ellos están asociados a faenas mineras que agotan su explotación en un cierto horizonte de años. En estos casos se debe considerar un valor residual que se asocia a valores de desguace de equipos y ciertos elementos de la infraestructura ferroviaria, cuando ellos no tienen un uso alternativo más allá del período de operación del proyecto.

2.10 Definición de estándares tecnológicos e interoperabilidad

La tecnología ferroviaria chilena se basa principalmente en la tecnología norteamericana. En el caso de la infraestructura, los rieles y sus accesorios corresponden a las normas AREMA (ex-AREA) y es importante que esta homogeneidad técnica se mantenga. Lo mismo sucede en los equipos rodantes con sus enganches, frenos y rodado, que se rigen por las normas AAR. Los automotores de pasajeros de EFE actualmente son equipos europeos reconstruidos y en MERVAL son automotores europeos nuevos, pero su rodado se rige por las normas AAR en lo que se refiere a perfil de ruedas, dimensiones de los ejes y dureza del material. Todos estos estándares deben ser mantenidos.

Otro aspecto importante es la interoperabilidad de los equipos. En los ferrocarriles chilenos de superficie hay tres trochas diferentes (1.676 mm, 1.067 mm y 1.000 mm) y no es recomendable introducir nuevas trochas, pese a que ya no quedan vías de la trocha estándar internacional (1.435 mm) más que en algunas explotaciones mineras. Las conexiones internacionales son todas de trocha 1.000 mm, aunque hay uno o dos proyectos con trocha 1.676 mm que es la misma trocha ancha argentina.

En las conexiones, sean éstas nacionales o internacionales, es importante que los equipos que circulan por estas vías tengan dimensiones compatibles con los gálíbos de la infraestructura, peso compatible con la resistencia de la enrieladura y de los puentes, enganches, rodado y especialmente frenos compatibles.

Finalmente, es conveniente considerar estándares mínimos – o máximos, según el caso – en relación con el diseño o rehabilitación de la infraestructura. Estos estándares se refieren principalmente a perfiles de riel, radios de curvas, gradientes y pendientes, gálíbos, peso por eje, trenes de cargas de diseño, alcantarillas tipo y otros aspectos que garantizarán que el diseño será compatible con los equipos que podrán utilizarse en el futuro previsible.

2.11 Definición de etapas del proyecto

La naturaleza de la tecnología ferroviaria conduce a que los requerimientos en las etapas de perfil y de prefactibilidad difieran de alguna medida de los tradicionales en otros tipos de proyectos.

2.11.1 Etapa Perfil

En esta etapa, el objetivo es establecer un juicio inicial acerca de la eficacia y coherencia de las alternativas de proyecto propuestas, a fin de adoptar una decisión de profundizar en el análisis o desechar el proyecto.

La etapa de perfil se debe incorporar información adicional y precisar aquella proveniente de la etapa de Idea. La información adicional se refiere a: cuantificación preliminar del mercado y tamaño de la inversión a partir de la información disponible, un análisis preliminar de alternativas técnicas, una estimación de montos de inversión por ítem (terreno, construcción, equipos e instalaciones), costo anual de operación promedio, vida útil. Con esta información se debe hacer una evaluación preliminar de la iniciativa de inversión.

En esta etapa, la relativa rigidez de los criterios de diseño de los trazados ferroviarios y de las obras de arte requiere un análisis algo más detallado de la topografía para que pueda tenerse una cierta certeza de que los costos encontrados representan de la mejor manera posible los que se encontrará en el proyecto. En el caso de los proyectos viales, por ejemplo, las gradientes máximas son del orden del 10%, mientras que en los ferroviarios pueden ser del 1,5% o aún inferiores, dependiendo de los volúmenes a transportar. En cambio, otras inversiones, como las de electrificación, señalización y comunicaciones pueden estimarse en forma global, tomando como base proyectos similares.

Para la estimación de la demanda del proyecto se recomienda trabajar con modelos conocidos y datos existentes, no requiriéndose de la calibración de nuevos modelos. La precisión exigida debiera ser compatible con las escalas macro o estratégicas a nivel interurbano.

En cuanto al análisis de externalidades del proyecto, como mínimo en esta etapa se debe incorporar una apreciación cualitativa y juicio experto a partir de información disponible (calificación del impacto: alto, mediano, bajo).

Los estudios de base indicados para los Estudios de Perfil enumerados en 2.101.4 del Manual de Carreteras son los mismos utilizados en los proyectos ferroviarios y las disposiciones del citado Manual son igualmente aplicables para estos proyectos.

2.11.1.1 Topografía

Para el desarrollo de los estudios de perfil de nuevos trazados o modificación de trazados existentes, son suficientes los antecedentes topográficos que se encuentran

disponibles en las planchetas del Instituto Geográfico Militar en escala 1:50.000 o en planos topográficos de precisión equivalente. Si bien las planchetas impresas son aceptables, se recomienda la utilización de archivos digitales, para su elaboración en AutoCAD.

2.11.1.2 *Hidrología*

Las planchetas del Instituto Geográfico Militar muestran los cursos de agua permanentes y eventuales, lo que junto con los perfiles longitudinales del trazado, son suficientes para estimar la cantidad y magnitud de las obras de arte de los proyectos de nuevos trazados en esta etapa. Las estimaciones se deberán efectuar por el procedimiento señalado en el párrafo 2.404.101 del Manual de Carreteras del MOP.

Para el caso de modificación de trazados existentes (por ejemplo, variantes y modificaciones de curvas) las obras de arte serán similares a las existentes y será suficiente cuantificar las obras de arte a partir del catastro del trazado existente, el que normalmente está disponible.

2.11.1.3 *Geología y suelos*

Estimaciones sobre la calidad de los terrenos por atravesar pueden obtenerse del Mapa Geológico de Chile de Sernageomin. Si no se dispone de información sobre la geología de la zona, es factible trabajar con la información contenida en las planchetas IGM, estimando la composición de los cortes como un porcentaje de roca, terrenos semiduros y terrenos blandos. El párrafo 2.506.101 del Manual de Carreteras describe la información geotécnica necesaria para los estudios preliminares, lo que es enteramente aplicable a los trazados ferroviarios.

Excepto que exista información más precisa, se propone clasificar los suelos de acuerdo con lo siguiente.

Llanuras y planicies entre 0 y 5% de pendiente:

- Roca 10%
- Terreno semiduro 40%
- Terreno blando 50%

Laderas y zonas de lomajes suaves con cortes moderados:

- Roca 30%
- Terreno semiduro 40%
- Terreno blando 30%

Zonas montañosas con cortes profundos:

- Roca 50%
- Terreno semiduro 40%
- Terreno blando 10%

Los terraplenes se forman habitualmente con empréstitos y sus costos deben considerar el suministro de material y su transporte. En terrenos planos en la zona norte es posible formar los terraplenes con material superficial vecino al trazado. En las zonas centro y sur, en cambio, los terrenos superficiales no son aptos para la formación de terraplenes.

2.11.1.4 Expropiaciones, servidumbres y adquisición de terrenos

Para los estudios de perfil no es necesario catastrar la propiedad de los terrenos que se verán afectados por el proyecto, siendo suficiente efectuar una estimación de los costos de expropiación, servidumbres y adquisición de terrenos.

Los terrenos deben clasificarse según su situación, que afecta el valor comercial. Las fajas en zonas rurales deberán tener un mínimo de 20 metros de ancho, aunque debe tenerse en cuenta el ancho de base de los terraplenes y el ancho superior de los cortes. En las zonas de cortes y terraplenes se recomienda utilizar un ancho de faja de 30 metros.

Para la ubicación de terrenos de estaciones y zonas de maniobras en zonas urbanas deberá considerarse los accesos y los espacios para instalaciones auxiliares. La ubicación de talleres y otras instalaciones de mantenimiento deben considerar los usos de suelo permitidos para estas actividades. En el caso de túneles, debe considerarse las servidumbres de paso en las propiedades de la superficie.

2.11.1.5 Vías existentes

En los proyectos que incluyen la recuperación o mejoramiento de vías existentes, la estimación de inversiones en la superestructura de la vía férrea se deberá efectuar a partir de la información contenida en los catastros existentes, complementada con una inspección visual de la vía con el propósito de evaluar en forma global su estado y las reparaciones o mejoramientos necesarios.

2.11.2 Etapa de Prefactibilidad

En esta etapa, en la que se desarrolla el anteproyecto, se debe profundizar en el análisis tanto a nivel de proposición de alternativas, precisión de inversiones, estudios de demanda específicos y costos de operación y mantenimiento.

Asimismo, el diseño de la infraestructura ferroviaria tiene requerimientos geométricos que corresponden a los proyectos definitivos y que no deberían ser modificados en la ingeniería de detalle.

Los equipos complementarios, tales como los de señalización y comunicaciones, sólo deben ser materia de especificaciones funcionales y no de anteproyectos técnicos, ya que la tecnología de estos equipos varía según el proveedor – se trata de tecnologías propietarias – y la ingeniería de detalle es confeccionada por el proveedor en formaprevia a la construcción. Así también, debe realizarse la toma de datos de terreno y a la calibración de modelos de demanda y de redes (multimodales si corresponde).

En cuanto a los costos de operación, tanto ferroviarios como de otros modos, deben ser modelados y establecidos con mayor precisión, incluyendo la totalidad de las componentes de operación. También debe considerarse la modelación y estimación de costos de mantenimiento de la infraestructura (multimodal, si es el caso).

Respecto al análisis de externalidades del proyecto, debe incorporarse la estimación de costos sociales por accidentes y en relación a impactos ambientales a través de la Tabla de Impactos según lo descrito posteriormente.

Los estudios de base indicados para los Estudios de Prefactibilidad indicados en el Manual de Carreteras también aplican a estos proyectos.

2.11.2.1 Topografía

Los anteproyectos de trazados ferroviarios, ya sea nuevos o modificación de los existentes, difieren en muy poco de los proyectos de ingeniería definitivos, por lo que sus requerimientos de topografía son similares.

Para los nuevos trazados o para la modificación de trazados existentes se requiere de levantamientos topográficos de precisión suficiente para la confección de planos escala 1:1000 en planta y 1:100 en alzado. Los levantamientos pueden ser aéreos o terrestres, conforme a lo indicado en la Sección 2.313 del Manual de Carreteras del MOP. La topografía de los trazados deberá hacerse en una faja de 50 metros a cada lado del trazado preliminar, previamente replanteado.

2.11.2.2 Hidrología

La sección y longitud de las obras de arte deberá basarse en los antecedentes hidrológicos especificados en el párrafo 2.404.102 del Manual de Carreteras del MOP. Donde no existan antecedentes deberán efectuarse los estudios hidrológicos correspondientes en la forma indicada en dicho manual en la sección 2.404.

En aquellos trazados paralelos a carreteras existentes, puede utilizarse las secciones de las obras de arte de la carretera, pero los diseños estructurales deben ser los ferroviarios, que soportan mayores cargas por eje.

2.11.2.3 Geología y suelos

Los estudios de suelos para nuevos trazados deben efectuarse en la forma indicada en el párrafo 2.506.102 del Manual de Carreteras del MOP para la confección de anteproyectos, tanto en lo que se refiere a los terrenos del trazado como al material de los empréstitos.

Las modificaciones de trazados se tratarán de manera similar, en lo que sea aplicable. Además, la sección 2.506.2 del Manual de Carreteras entrega indicaciones valiosas para los estudios de recuperación de sectores del trazado con problemas de suelos.

2.11.2.4 *Expropiaciones, servidumbres y adquisición de terrenos*

La confección del anteproyecto de nuevos trazados requiere efectuar un catastro general de las propiedades afectadas. Este catastro debe tener identificados los paños de terreno afectados por el proyecto con su propietario, rol y superficie aproximada.

En el caso de proyectos de mejoramiento de líneas existentes, es conveniente revisar los títulos de propiedad de los terrenos del tramo en cuestión, para regularizar la propiedad y verificar la existencia de ocupaciones ilegales.

2.11.2.5 *Vías existentes*

En los proyectos que incluyen la recuperación o mejoramiento de vías existentes, la estimación de inversiones en la superestructura de la vía férrea se deberá efectuar a partir de la ejecución de un catastro detallado, el que debe incluir el tipo y estado de todos sus componentes: rieles, durmientes, sujeciones, balasto, líneas aéreas, retornos de tracción, postación, estructuras de soporte eléctrico, señales, líneas eléctricas subterráneas, ductos y en general todos los elementos de la superestructura de la vía férrea.

Los puentes y obras de arte requieren un tratamiento separado. Deberá efectuarse un catastro individual y una monografía de cada una de las obras de arte, con el propósito de estimar las inversiones que se requerirán. En el caso de los puentes y dependiendo del alcance del proyecto, es conveniente elevar los estándares en la forma recomendada por el manual REDEFE.

2.11.3 *Proyectos que incluyen equipo rodante*

2.11.3.1 *Material rodante nuevo y reconstruido*

En los estudios de perfil, las características generales de los equipos rodantes pueden obtenerse de los catálogos de fabricantes o de revistas especializadas. En los estudios de prefactibilidad (anteproyectos), las características deben ser más precisas, en lo posible provenientes de cotizaciones pro-forma (budgetary quotations).

El cálculo del parque debe considerar una reserva para mantenimiento, la que proviene de considerar un porcentaje de disponibilidad de los equipos. Además, la vida útil de los equipos debe considerarse según su naturaleza. Las cifras sugeridas para el material rodante nuevo y reconstruido son:

Cuadro 2-1 Disponibilidad y vida útil de equipo rodante

Equipo	Disponibilidad %		Vida útil años	
	Nuevo	Reconstruido	Nuevo	Reconstruido
Locomotoras diesel	95	80	40	20
Locomotoras eléctricas	98	90	50	20
Automotores diesel	90	70	30	15
Automotores eléctricos	95	90	40	15
Coches de pasajeros	95	90	30	15
Carros de carga	90	90	40	20

Fuente: Elaboración Propia

2.11.3.2 Rehabilitación de material rodante existente

En los proyectos que consideran el uso de material rodante reconstruido, se recomienda evaluar las tres alternativas: equipo nuevo, equipo reconstruido y modernizado, y equipo rehabilitado a sus condiciones originales. En los casos en que la rehabilitación no incluya la modernización de los conjuntos de potencia y sus controles, debe tenerse en cuenta que los parámetros operacionales por aplicar deben ser los originales del equipo.

Las cifras de disponibilidad y vida útil del material rehabilitado pueden asimilarse al material reconstruido en el cuadro anterior. Sin embargo, estas cifras son aplicables sólo en caso que la rehabilitación haya sido efectuada con los mismos estándares de la reconstrucción. En caso que la rehabilitación haya sido hecha con estándares inferiores, ambas cifras deberán reducirse.

2.12 Impactos externos del proyecto

La literatura sobre análisis y evaluación de proyectos ferroviarios reconoce que en un número importante de casos no todos los impactos de un proyecto son cuantificables y, además, entre los cuantificables no todos pueden ser valorizados en cifras económicas o unidades monetarias. Por ejemplo, los impactos ambientales como ruido y vibraciones, calidad del aire, emisiones atmosféricas globales, efectos sobre el paisaje, seguridad personal, lesiones a las personas, contribuciones a cumplir objetivos sectoriales y otros, no necesariamente son expresables en cifras económicas.

En general, estos impactos se excluyen en la modelación de transporte, excepto costos de congestión y los costos por accidentes, por lo cual cuando se analizan proyectos ferroviarios (que normalmente tienen un carácter multimodal), la diferencia entre los impactos externos del ferrocarril y de los otros modos, pasa a tener una mayor relevancia.

Uno de las principales virtudes que suele mencionarse sobre el modo ferroviario se relaciona con la posibilidad de ofrecer una alta calidad de servicio a sus usuarios y niveles de seguridad mayores a los modos terrestres competitivos. Aún cuando el servicio ofrecido no posea mejoras relevantes en relación a los modos competitivos (por ejemplo, en relación a la tarifa o el tiempo de viaje), en general los pasajeros evalúan positivamente el mayor espacio y por ende comodidad que entregan los servicios ferroviarios, donde se pueden desplazar libremente, en comparación al bus o avión, que en general son bastante más restrictivos.

Esta valoración de atributos no cuantificables a través de la metodología tradicional de evaluación, implica que existe una fuente importante de beneficios sociales que no están siendo recogidos en la evaluación y debieran ser estudiados para cuantificar de manera apropiada los impactos del servicio ferroviario. En etapas posteriores se propone una metodología para considerar en la evaluación económica una valoración de la calidad del servicio.

De esta manera y por cuanto las mejores evaluaciones combinan información cualitativa con cuantitativa para completar la formulación y la evaluación del proyecto, es deseable que estos beneficios y costos sean incorporarlos en la evaluación social, en valores monetarios. En esta metodología se propone utilizar un *Cuadro de Impactos* que sea capaz de mostrar de manera sintética todos los efectos que se estime relevantes para apoyar la toma de decisiones, sean estos económicamente cuantificables o no. El método se desarrolla posteriormente.

Debe indicarse que la *tabla de impactos es una herramienta meramente descriptiva de los distintos impactos que se espera tendrá el proyecto, cuyo resultado de ninguna forma podrá utilizarse para justificar la realización de proyectos con indicadores que no muestren que económicamente dicho proyecto es socialmente rentable.*

2.13 Proyectos complementarios y visión multimodal

La demanda de servicios ferroviarios y, por ende, los beneficios que genera, dependen en gran medida de las facilidades que sean otorgadas a la conectividad con otros modos de transporte. Es conocida la rigidez del modo ferroviario, que a diferencia de los modos viales, no puede acercar los pasajeros y la carga a su destino sin obras de inversión mayores. De esta manera, en muchos casos la localización de las estaciones, así como la provisión de material adecuado para el acopio y traspaso a otros modos, en el caso de la carga, y la integración con los sistemas de transporte público urbano y vehículos particulares, en el caso de pasajeros, pueden asegurar una mayor rentabilidad del proyecto.

En el caso de pasajeros, idealmente las estaciones debieran ser localizadas en un punto tal que minimice los tiempos de acceso y egreso de sus usuarios, ya sea localizándose en puntos estratégicos que permitan un acceso directo de los viajeros, así como generando la facilidad para realizar trasbordo hacia otros modos de transporte. El caso de la carga es más crítico, puesto que de no existir facilidades para el acopio de carga ni el equipamiento adecuado para cargar el ferrocarril, puede conducir al fracaso de un proyecto de inversión.

De esta manera, los proyectos que presenten complementariedad e integración del ferrocarril con otros modos deben ser analizados en forma correspondiente, ya que podrían generar aumentos de rentabilidad o de costos de inversión.

2.14 Análisis Ex – Post

El análisis ex – post es una herramienta destinada a identificar las diferencias entre los análisis y proyecciones desarrollados en la etapa de evaluación ex – ante y los costos y beneficios reales obtenidos con la ejecución del proyecto. Este tipo de análisis, de indudable importancia en cualquier proceso de evaluación de proyectos, adquiere en el caso de los proyectos ferroviarios una particular relevancia. Se deberá revisar particularmente las estimaciones de costos de inversión, en infraestructura, material rodante y otros, así como en la operación del proyecto, al igual que en los métodos de estimación de beneficios. La estimación de costos en proyectos ferroviarios es un aspecto relativamente conocido, sobre el cual es probable no se encuentren grandes diferencias. Sin embargo, algunos de los tipos de beneficios considerados y sus indicadores, así como la diversidad de impactos que se considera estimar, son elementos relativamente novedosos respecto de la evaluación tradicional de proyectos de transporte y, en muchos casos, difíciles de cuantificar con los métodos tradicionales de evaluación.

Es recomendable entonces que, como parte de la evaluación de un proyecto ferroviario, se considere desde el inicio que se realizará un análisis ex – post. Esto significa preparar y reportar la información ex – ante para ser comparada con la información ex – post de una manera expedita. Lo mismo los criterios utilizados en la evaluación y procedimientos de estimación de costos y beneficios, además de los impactos externos y otros, sean reportados de manera que puedan compararse con la situación con proyecto, después de un período de al menos un año.

3 TIPOLOGIAS DE PROYECTOS FERROVIARIOS

3.1 Proyectos ferroviarios según aspectos técnicos de diseño

Los proyectos ferroviarios muestran una serie de características que los diferencian de proyectos convencionales del área de transporte, en particular con los proyectos históricamente más frecuentes como son los de inversión en infraestructura vial, portuaria o aérea. En los puntos siguientes se discuten diversos aspectos en que los proyectos ferroviarios presentan características particulares, a los cuales se debe prestar una especial atención en la etapa de evaluación.

La Sección 1 del Manual REDEFE se refiere a la definición técnica del proyecto y la clasificación que hace esta Sección se considera adecuada para los efectos del presente estudio. Sin perjuicio de lo anterior, los comentarios que se consignan a continuación tienen por objetivo ya sea enfatizar conceptos contenidos en REDEFE o complementarlos. En lo que no se menciona aquí, el contenido de la Sección 1 de REDEFE es enteramente aplicable.

3.1.1 Alcance y nivel de detalle de los proyectos técnicos

El nivel de detalle de los proyectos técnicos ferroviarios considerados en este manual son los siguientes:

➤ Diseños para estudios de perfil

Este alcance debe ser funcional al nivel de la evaluación, vale decir, debe establecer en forma conceptual la razonable factibilidad técnica del proyecto y en forma aproximada sus costos de inversión y de operación. Los costos se evalúan en conjunto con los beneficios sociales del proyecto, estimados al menos con el mismo nivel de detalle en los estudios de demanda, para establecer su rentabilidad en esta etapa preliminar. Como en este nivel de evaluación los beneficios y costos tienen un margen de seguridad importante (se propone $\pm 25\%$), sólo en caso que su rentabilidad se considere aceptable podrá pasar a la etapa siguiente, pre-factibilidad.

➤ Diseños para estudios de pre-factibilidad

Los estudios de pre-factibilidad requieren diseños más detallados, que incluyen los estudios de ingeniería básica: topografía, mecánica de suelos, hidrología, componentes ambientales, etc., más los diseños de anteproyecto necesarios para determinar los costos de inversión y operación con mayor exactitud (se propone $\pm 15\%$). En correspondencia con lo anterior, los beneficios del proyecto deben estimarse con un grado de exactitud equivalente para la evaluación económica. En esta etapa de la evaluación pueden presentarse factores técnicos que hagan inviable el proyecto o que lo encarezcan de tal forma que su rentabilidad esté por debajo de lo aceptable. En este caso, el proyecto se abandona, se posterga hasta que las condiciones sean diferentes o se reformula.

En el Anexo A se entregan los detalles técnicos correspondientes para el diseño físico de los proyectos ferroviarios.

3.1.2 Naturaleza del proyecto

3.1.2.1 Tipos de proyectos ferroviarios

Desde el punto de vista de la técnica ferroviaria, la tipología de proyectos en cuanto a su naturaleza, es la siguiente:

- a) Proyectos de Transporte de Pasajeros
- b) Proyectos de Transporte de Carga
- c) Proyectos de Tráfico Mixto

Dentro de cualquiera de estas categorías pueden presentarse tres casos:

- i) Proyectos nuevos
- ii) Proyectos de rehabilitación o mejoramiento
- iii) Proyectos mixtos, que combinan la rehabilitación o mejoramiento de tramos existentes y la construcción de tramos nuevos.

Estos casos sólo tienen incidencia en el diseño, ya que desde el punto de vista de la metodología de evaluación conceptualmente son equivalentes. En la práctica se trata de un conjunto de inversiones que debe abordarse con criterios de diseño coherente.

Esta clasificación es igualmente válida, tanto para proyectos de infraestructura como para proyectos que se refieren principalmente a inversiones en equipo rodante, sean éstos nuevos (proyectos nuevos), de rehabilitación de equipos existentes (proyectos de rehabilitación) o de proyectos que combinan equipos nuevos con rehabilitación de los existentes y con inversiones en infraestructura (Proyectos Mixtos).

En el Anexo B se entregan los detalles técnicos correspondientes para el diseño operacional de los proyectos ferroviarios.

3.1.2.2 Proyectos de transporte de pasajeros

Corresponden a esta categoría los proyectos en que la infraestructura es utilizada por servicios de transporte de pasajeros en forma exclusiva.

a) Sistemas de larga distancia (intercity)

Los sistemas de larga distancia corresponden a aquellos servicios de más de 400 km de recorrido o más de 4 horas de viaje. Los servicios tradicionales de larga distancia y los de media distancia comparten la misma tecnología básica, tanto en infraestructura como en equipo rodante. La diferencia entre estos dos tipos está solamente en la naturaleza de los servicios ofrecidos, en cuanto ellos dependen de la duración del viaje: dormitorios, comedores, transportadores de automóviles, etc. y clases de asientos.

Sin embargo, dentro del concepto de larga distancia – pese a que la duración del viaje los hace más cercanos a los servicios de distancia media – están los servicios de alta

velocidad, que constituyen la evolución natural en el futuro del transporte ferroviario de pasajeros interurbano. En lo que se refiere al diseño de la infraestructura, las vías de alta velocidad tienen condiciones de diseño diferentes a las de los ferrocarriles convencionales. Los trazados de alta velocidad:

- Son exclusivos; raras veces coexisten con servicios de velocidad menor
- Utilizan alineamientos nuevos; raras veces utilizan vías existentes mejoradas
- Evitan la pasada por las localidades menores
- Tienen radios de curvas mucho mayores (7.000 a 11.000 m)
- Sus gradientes pueden llegar hasta 3,5%
- No tienen cruces a nivel con caminos y carreteras
- Las fajas están estrictamente segregadas
- Cumplen exigencias ambientales mucho más estrictas, especialmente en relación con el ruido

La superestructura de la vía tiene características similares a las vías de menor velocidad, ya que utiliza el mismo tipo de rieles, durmientes y sujeciones, pero con perfiles de balasto reforzados y especialmente un mantenimiento muy cuidadoso en relación con las tolerancias geométricas.

Los equipos rodantes son completamente diferentes a los convencionales. Se trata de automotores de alta potencia con tracción distribuida, con sistemas de rodado y suspensión diseñados para altas velocidades y dotados de diversos sistemas de monitoreo y control desde las estaciones de tierra.

b) Sistemas de distancia media

Estos sistemas tienen recorridos comprendidos entre 150 km y 400 km, o entre 1 y 4 horas de viaje. Sin embargo, el REDEFE puede ser utilizado para proyectos de distancias menores, siempre y cuando los servicios posean características similares a los de media distancia, por ejemplo, en cuanto a velocidad, frecuencia de paradas, demanda interurbana, etc.

Los sistemas de distancia media están dejando de utilizar las formaciones convencionales de trenes, con locomotoras y coches remolcados, sustituidos por automotores eléctricos o diesel (EMUs o DMUs), por razones de economía y confort.

Como se ha señalado, las tecnologías de infraestructura de los servicios de media y larga distancia tradicionales son similares, aunque los servicios ofrecidos por los de media distancia son limitados por la duración del viaje, que no excede las 4 horas y que en los trenes modernos no excede las 2 horas. Las unidades que los sirven tienden a ser de clase única y con servicios básicos, aunque subsisten los equipos con dos clases de acomodaciones.

3.1.2.3 Proyectos de transporte de carga

En el diseño de trazados para transporte de carga (sin pasajeros), REDEFE recomienda gradientes no superiores a 1,5% - el ideal es que no pasen de 1%, pero esto no siempre es posible - con radios de curvas mínimo de 150 metros, lo que equivale a una velocidad máxima del orden de 100 km/h.

La enrielladura debe proyectarse de acuerdo con el peso máximo por eje de los carros y locomotoras del proyecto de acuerdo con la fórmula señalada por el manual REDEFE, que es la misma del Manual AREMA, la que relaciona el peso por eje, la velocidad y la sección de riel.

Para los puentes y obras de arte, en cambio, debería considerarse solicitudes mayores, ya que la tendencia del equipo de carga es la de aumentar su tamaño, peso total y velocidad. Como el tren de cargas máximo de EFE, el tren-tipo C, es insuficiente para las solicitudes del equipo moderno, REDEFE recomienda la utilización del estándar Cooper E80 que equivale a una carga por eje de 36 toneladas o una carga repartida de 12 t/ml. Esta recomendación se basa en que, cuando las solicitudes aumentan, es factible cambiar la enrielladura, pero reemplazar los puentes o reforzarlos es caro y complejo y termina por no hacerse, lo que limita el uso de equipos de mayor tamaño y eficiencia.

Los proyectos de carga se pueden clasificar en tres categorías, según el tipo de servicio entregado:

a) Sistemas de transporte de carga general

La construcción de sistemas de transporte ferroviario de carga general en el mundo es un caso poco frecuente. El caso que suele darse es la extensión de trazados existentes para dar acceso a alguna instalación industrial o minera, o a un nuevo puerto.

En el diseño de los trazados para proyectos de carga general, además de los conceptos antes señalados, debe tenerse en cuenta los gálibos mínimos, en especial su dimensión vertical, para posibilitar el transporte de contenedores apilados. Asimismo, es conveniente tener en cuenta los gálibos mínimos transversales, especialmente en las curvas de radio reducido, ya que carros de gran longitud presentan desplazamientos importantes en estas curvas. En lo que se refiere a los desvíos de cruzamiento y maniobras, los diseños deben tener en cuenta la creciente longitud de los trenes.

Por lo general, los sistemas de transporte de carga general son de operación diesel, aunque en Chile existen operaciones con tracción eléctrica.

b) Sistemas dedicados a un solo tipo de carga

Estos sistemas corresponden normalmente a ferrocarriles que atienden a instalaciones mineras o industriales y están dedicados básicamente al transporte de su producción y sólo ocasionalmente a algunos de sus insumos.

Su condición particular permite que su diseño se adapte a las características específicas del transporte. Sin embargo, en este campo hay diversas alternativas técnicas que deben ser evaluadas para determinar su combinación óptima. Así, debe considerarse que la

utilización de locomotoras más potentes y carros de mayor tamaño y peso, requiere de rieles de mayor sección y obras de arte de mayor resistencia, inversiones que sólo se justifican para determinados volúmenes de producción y tráfico.

Con las instalaciones de carga y descarga, tanto en lo que se refiere al lay-out de las vías como a los mecanismos de descarga, sucede algo similar. Los sistemas de carga y descarga continua en movimiento utilizan lay-outs circulares que ocupan grandes superficies; y los sistemas de descarga de alto rendimiento, como las cunas de volteo, tienen costos de inversión y operacionales que pueden ser importantes en explotaciones de bajo volumen.

c) Sistemas especializados

Los sistemas especializados, que corresponden a transportadores ferroviarios internos en instalaciones mineras o industriales, son un caso extremo de los sistemas dedicados y no forman parte de proyectos de transporte dentro del ámbito esta metodología.

3.1.2.4 Proyectos de Tráfico Mixto

Los proyectos de tráfico mixto consideran la circulación de trenes de pasajeros y de carga por las mismas vías. Habitualmente se trata de vías existentes que se mejoran o se rehabilitan y a la construcción de nuevas líneas interurbanas.

Las líneas de tráfico mixto deben tener las características más restrictivas de los trenes de pasajeros y de los trenes de carga, y por esta misma razón, presentan problemas metodológicos de interés en las soluciones técnicas de los proyectos, así como en su evaluación.

En lo que se refiere a la geometría, los servicios de pasajeros requieren curvas de mucho mayor radio, debido a su mayor velocidad. Estas curvas representan inversiones mayores que en un proyecto de transporte exclusivo de carga no serían necesarias. En contraste, las gradientes en un proyecto mixto deben ser menores que las que serían necesarias en un proyecto sólo de transporte de pasajeros.

La infraestructura de la vía férrea es un tema similar. Los equipos de pasajeros son normalmente más livianos que los de carga y no requieren secciones de riel tan grandes. Lo mismo sucede con las estructuras de los puentes. Asimismo, la longitud de los desvíos de cruzamiento y maniobras para los trenes de carga deben ser considerablemente mayores.

En contraste, los sistemas de señalización y control de tráfico de las líneas con trenes de pasajeros deben tener niveles de seguridad mayores, no sólo por la seguridad de sus usuarios, sino por la mayor velocidad de los trenes.

Para el correcto diseño de los proyectos de tráfico mixto conviene separar las características de ambos tipos de trenes.

Además de las características propias del servicio, los trenes de pasajeros requieren:

- Mayores radios de curvas

- Sistemas de señalización y control de tráfico más seguros y sofisticados
- Estándares de mantenimiento más exigentes
- Relativa cercanía a los centros poblados
- Estricta segregación de las fajas
- Sistemas de suministro eléctrico (la mayoría de las veces)

A su vez, los proyectos de trenes de carga requieren:

- Menores gradientes (en el sentido cargado predominante)
- Mayores secciones de riel
- Puentes y obras de arte más resistentes
- Desvíos de cruzamiento y maniobras más largos
- Gálidos mayores

Asignar los mayores costos de inversión y operación a cada tipo de servicio puede ser un problema técnico complicado, por lo que muchas veces la evaluación se hace tomando como base al servicio predominante y considerando el menos importante como marginal. Este enfoque puede ser correcto sólo si los mayores costos correspondientes al servicio menor son correctamente considerados. Se debe tener especial cuidado de no ocultar proyectos de carga o pasajeros no rentables en el análisis de un proyecto mixto que considera la implementación de ambos tipos de servicio.

3.2 Proyectos ferroviarios para efectos de la metodología de evaluación

Desde el punto de vista metodológico de la modelación y evaluación del proyecto, la clasificación de los proyectos ferroviarios depende de su impacto sobre el sistema de transportes y sobre el sistema de actividades en su área de influencia.

Un proyecto ferroviario puede ser entendido como un cambio en la oferta de infraestructura ferroviaria y/u oferta de servicios ferroviarios, lo cual producirá una variación en la calidad y costo de ciertos viajes. Esto puede afectar la cantidad de viajes y cómo éstos son realizados, además de afectar la localización de actividades.

Por esta razón, desde el punto de vista de la modelación y evaluación, resulta conveniente clasificar los proyectos ferroviarios según el impacto que estos produzcan en el patrón de flujos de equilibrio entre la oferta y la demanda por transporte, lo cual, a su vez se asocia a la tipología y amplitud de los impactos del proyecto o alternativa a evaluar. Se distinguen tres tipos de impactos:

- a) Proyectos con efectos en la generación-atracción y distribución de los viajes
- b) Proyectos con efectos en la partición modal
- c) Proyectos con efecto en la asignación a la red

En esta clasificación de impactos resulta muy relevante definir qué se entiende por impacto significativo para ser considerado en la metodología de análisis y de

evaluación. En efecto, todo cambio en la oferta de infraestructura o servicios ferroviarios, aunque sea limitada y local podría afectar al sistema de transporte y de actividades. Pero en muchos casos, su efecto será tan pequeño que su consideración no afectará los resultados de la evaluación dentro de los rangos de precisión con que se esté trabajando, por lo que podrá despreciarse. La decisión de si un impacto es relevante o no, recae principalmente en el juicio del analista, apoyado por estimaciones del orden de magnitud de la variación de ciertas variables producto del proyecto, tales como tiempo de viaje, costos de transporte, distancia de viaje, etc., cuando ello resulte aconsejable.

A partir de las combinaciones de impactos señalados, han sido definidos 3 tipos de proyectos ferroviarios, tal como se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro 3-1 Clasificación de Proyectos Ferroviarios según Impacto en la Demanda

Tipo de Proyecto	Impacto significativo sobre		
	Generación/atracción Distribución	Partición Modal	Asignación
I	No	No	No
II	No	Si	Si/No
III	Si	Si	Si/No

Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente, desde el punto de vista de la modelación de la oferta y la demanda, surge una división natural en cuanto al tratamiento metodológico, dependiendo se trate de un proyecto de transporte de pasajeros o de carga.

3.2.1 Proyecto tipo I

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

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

En general, este tipo de proyectos será normalmente asociado al transporte de carga, pues la demanda es menos elástica a cambios menores en las variables de servicio que en el caso de pasajeros. En proyectos de pasajeros, podría darse en el caso del cambio de material rodante a uno más moderno y de menores costos de operación, pero que sobre la misma infraestructura no mejora sus variables de servicio, por lo que no genera

impactos en la demanda, salvo, por ejemplo, que los menores costos impliquen una menor tarifa o que el nuevo equipo posea mejores acomodaciones, en cuyo caso el proyecto podría pasar a ser de tipo II o III, según los impactos que se estime se producirán, lo cual debe ser decidido por el analista.

3.2.2 *Proyectos 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). La mayor atraktividad 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.

3.2.3 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.

4 ANÁLISIS DE LA DEMANDA

La estimación de demanda por transporte se deriva de la necesidad de realizar actividades que se encuentran localizadas en lugares distintos: pasajeros que desean transportarse ya sea por razones de trabajo, estudio, turismo u otras y, de la misma manera y el transporte de productos para el consumo de estas personas o bien para la producción de otros bienes.

Resulta relevante que la metodología de modelación de demanda de proyectos ferroviarios identifique los aspectos que deben ser contemplados en la caracterización del sistema de actividades para el proyecto bajo estudio, tanto a nivel de la situación actual como en la definición de escenarios de desarrollo o de crecimiento de las actividades en el futuro.

En estudios de pre-factibilidad esta recopilación de datos y antecedentes es exhaustiva, por cuanto se busca construir modelos de demanda a partir de variables indirectas como las aquí descritas. En el caso de estudios a nivel de perfil, esta recolección puede ser limitada sólo a una caracterización general del área de estudio y, eventualmente, cuando se dispongan de modelos de demanda existentes, para actualizar valores de sus variables explicativas, si ello es necesario.

En el Anexo E se detallan los requerimientos de información necesarios a los fines de realizar el análisis de la demanda.

4.1 Análisis conceptual de la demanda

Desde el punto de vista económico el transporte es un “bien” y como tal se rige por las leyes del mercado, es decir, de la oferta y la demanda. Existe una demanda por dicho bien, que refleja la disposición a pagar por viajes, y existe una oferta, que representa el costo en el que se incurre por realizar dichos viajes.

La demanda por infraestructura o servicio de transporte dependerá inversamente de su precio, tanto para el transporte de pasajeros como de carga (Figura N°4.1). Este precio se conoce comúnmente como Costo Generalizado de Viaje (CGV) y viene dado por la expresión:

$$CGV = p + z + vt$$

Donde:

CGV = costo generalizado de viaje

p = precio (peaje, pasaje, tarifa, etc.)

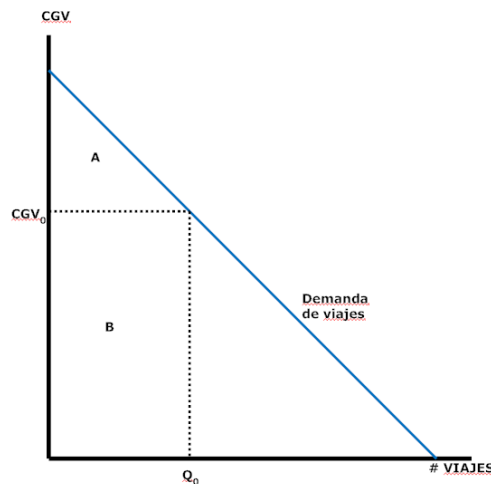
z = costo variable por utilizar el equipo por parte del usuario (costos de operación, combustibles, etc.)

t = tiempo total invertido en el viaje

v = valor unitario del tiempo de viaje, expresado en términos monetarios

En el transporte de pasajeros, cuanto mayor sea el costo de viaje en ferrocarril, parte de los pasajeros se cambiarán de modo (bus, automóvil o avión). Adicionalmente, habrá pasajeros que decidan no viajar (realizan el viaje a otro destino o directamente no realizan el viaje). Similarmente ocurre en el transporte de carga.

Figura 4.4-1: Demanda por viajes sin proyecto



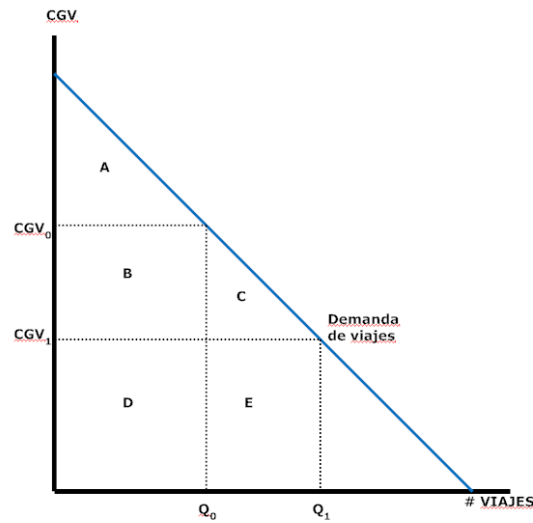
Fuente: Elaboración Propia

Por simplicidad, se considera en este ejemplo un costo de transporte fijo, independiente de la cantidad de viajes. Se debe tener en cuenta que en realidad, a partir de un determinado punto, el costo de viaje generalmente aumenta, producto de la congestión que producen dichos viajes.

Así, la disposición a pagar por los viajes corresponde a las áreas $A+B$, mientras que el costo de efectivamente viajar está dado por el área B (resultado de multiplicar la cantidad de viajes Q_0 por el costo de cada viaje CGV_0), por lo que el excedente del consumidor correspondería al área A .

Si se realiza un proyecto que reduce el costo generalizado de viaje, se tendría una situación como la que muestra la Figura N°4.2. En este caso, antes del proyecto, se tenía una cantidad de viajes Q_0 a un precio CGV_0 , mientras que después de la realización del proyecto, se tiene una cantidad de viajes mayor (Q_1) a un precio menor al anterior (CGV_1). En este caso, la disposición a pagar por los viajes correspondería a la suma de las áreas $A+B+C+D+E$, el costo de viajar correspondería a las áreas $D+E$ (que corresponde a multiplicar la cantidad de viajes Q_1 por el costo de cada viaje CGV_1), por lo que el excedente del consumidor en este caso corresponde a las áreas $A+B+C$. El área B corresponde a una disminución de los costos de viaje para los que utilizaban el servicio o la infraestructura antes del proyecto, mientras que el área C corresponde a un beneficio generado por usuarios nuevos.

Figura 4.4-2: Demanda por viajes con proyecto



Fuente: Elaboración Propia

El beneficio mostrado anteriormente corresponde al beneficio privado del proyecto. Si la función de costo CGV se expresara en costos sociales en lugar de privados (por ejemplo, considerando un valor social del tiempo de viaje, de los combustibles, etc.) y en lugar de tener la forma mostrada en la ecuación anterior se considerara también otros costos sociales producidos al viajar (por ejemplo, la congestión causada, la contaminación atmosférica, los accidentes, etc.) se obtendría de esta misma forma el beneficio social del proyecto.

Este beneficio puede calcularse de esta forma tanto para transporte de pasajeros como de carga. En el transporte de pasajeros, el beneficio estará dado por ahorros de recursos, ya sea en tiempo o dinero, de los pasajeros, además del beneficio por nuevos viajes realizados. Para el transporte de carga ocurre algo similar. Se da el mismo ahorro de recursos que en el caso de pasajeros, además de un beneficio por nuevos viajes que anteriormente no se realizaban.

4.2 Demanda por tipo de proyectos

Desde el punto de vista de la modelación del proyecto (oferta-demanda), las metodologías y variables que inciden serán diferentes si se trata de proyectos de pasajeros y de carga.

4.2.1 Proyectos de pasajeros

En el caso de la modelación de demanda de pasajeros interurbanos, se deberán considerar modelos de demanda directa, es decir, modelos que resuelven simultáneamente la generación-atracción y distribución de los viajes.

En el caso de la partición modal, la modelación debe realizarse a partir del desarrollo de modelos de elección discreta basados en la teoría de la utilidad aleatoria. Estos modelos son contruidos a partir de datos de preferencias reveladas y/o declaradas, segmentando la demanda según niveles de ingreso, propósito y/u otros que defina el modelador.

4.2.2 Proyectos de Carga

Durante mucho tiempo se ha considerado al ferrocarril y al camión como modos competitivos en el transporte de carga. Sin embargo, actualmente esto es efectivo sólo en un sector limitado donde las áreas de eficiencia de ambos modos se superponen. La modalidad de participación del ferrocarril en el transporte de carga, que inicialmente abarcaba la totalidad del mercado, ha evolucionado hacia el transporte de grandes volúmenes, cuyo manejo es especialmente adecuado para las características de automatización y eficiencia del modo ferroviario. En cambio, el desarrollo que ha experimentado la infraestructura vial y la mayor flexibilidad del transporte por camiones, ha orientado las cargas de pequeño o mediano volumen y las cargas misceláneas al transporte carretero.

Tanto la estructura de costos del ferrocarril, como los altos niveles de inversión requeridos en infraestructura y equipos, limitan su participación a proyectos de largo plazo y de grandes volúmenes, que aseguren la rentabilidad de las inversiones.

Desde el punto de vista de la determinación de la demanda actual de carga ferroviaria, ésta puede considerarse conocida, pues las empresas porteadoras llevan un detallado registro de las cargas transportadas (volumen, origen-destino). En cuanto a la proyección general de las cargas ferroviarias, éstas varían en función, principalmente, del crecimiento de producción de sus principales clientes y sujeto a la capacidad de transporte actual y proyectada que posean los operadores.

De acuerdo con lo anterior, los proyectos ferroviarios de carga se originan con base en un requerimiento específico de transporte para un producto masivo y permanente en el largo plazo, sobre el cual puedan sustentarse las inversiones en infraestructura y equipos. Ello implica que tanto la demanda objetivo como su proyección en el futuro son conocidas y se asocian directamente al proyecto productivo, capacidad instalada y eventuales proyectos de ampliación. Su estimación debe hacerse a través de entrevistas directas con la empresa que desarrolla el proyecto productivo.

Por otra parte, la carga actualmente transportada por el ferrocarril y por camión (si se considera la modelación de la red vial en forma explícita) en el área de análisis, también debe ser proyectada para la modelación de cortes temporales futuros. En este caso, la

modelación debe realizarse por tipo de producto, obteniéndose buenos resultados con modelos de generación-atracción y distribución separados; o modelos basados en la relación insumo-producto; incluso para algunos productos su distribución es conocida y no requiere de un modelo analítico, por ejemplo, transporte de mineral desde la mina al puerto. Un enfoque más simplificado, pero que también puede considerarse para la modelación de la carga en la red vial, es a través de matrices de vehículos (sin distinguir tipos de productos), cuya proyección también puede hacerse a partir de modelos de generación-atracción y distribución, basados en variables de producción, consumo y sistema de actividades.

Conocida la demanda a transportar y sus proyecciones, entendiéndose por ella los volúmenes de carga que efectivamente podrían ser transportados por ferrocarril, el diseño del proyecto debe ser realizado a la medida de los requerimientos del transporte. Normalmente la materialización de los proyectos sólo se efectúa cuando existe la seguridad y el compromiso del proyecto productivo de que el transporte se hará por ferrocarril.

Algunos proyectos ferroviarios pueden estar orientados a mejorar las vías y realizar ampliaciones, con el objetivo de aumentar la capacidad de transporte. Nótese que la capacidad de transporte puede ser aumentada a partir de mejoras en el nivel de servicio (tales como aumentos de velocidad). Sin embargo, dichas mejoras no suelen generar captación de cargas nuevas para el ferrocarril, como ya se ha expuesto. Luego, en este caso, las inversiones deben justificarse a partir del crecimiento de la demanda de los productos ya transportados, que de no realizarse el proyecto no podrían ser absorbidos por el ferrocarril por falta de capacidad y tendrían que ser transportados por camión (Situación Base). Dado esto, es fundamental el análisis de equilibrio de oferta-demanda en la red ferroviaria, de manera tal de establecer cuál es la capacidad máxima que puede ser ofrecida, considerando la infraestructura y equipos disponibles y/o proyectados.

Finalmente, para la modelación del proyecto, el análisis se realiza considerando que la elección modal es del tipo todo o nada. Es decir, una Situación Sin Proyecto en que no existe el proyecto y toda la demanda de interés (es decir aquella identificada como potencial usuaria del ferrocarril y que no necesariamente es toda la producción) se transporta en camión y una Situación Con Proyecto en que todo se transporta en ferrocarril, permitiendo así determinar la rentabilidad social del proyecto.

Se debe considerar en este punto que, en el caso de algunos tipos de carga, como por ejemplo la carga minera, el transporte por camión no es necesariamente la única alternativa al tren, ya que dicho transporte puede realizarse también por medio de ductos.

5 ANÁLISIS DE LA OFERTA

El objetivo fundamental de este capítulo es describir los elementos constitutivos de la oferta de transporte, para lo cual se deben recopilar diversos antecedentes relativos a dicho sistema, es decir, la definición topológica de la red de transporte relevante y la caracterización física y operacional de ella.

5.1 Red Vial

No siempre para el estudio de un proyecto ferroviario se requerirá definir y caracterizar una red vial. Los proyectos Tipo I no requieren análisis multimodal. En el caso de los proyectos Tipo II y III, siempre se deberá realizar un análisis multimodal, pues ambos consideran cambios significativos en la demanda del ferrocarril debido al proyecto. En todo caso, aún si se requiere un análisis multimodal, no siempre será necesario construir una red vial.

Por una parte, en los estudios a nivel de perfil no se considerará imprescindible la construcción de una red vial, pudiendo limitar el análisis sólo a los pares O-D servidos por el ferrocarril (en el proyecto) y determinando costos y tiempos de viaje a partir de la estimación de distancias viales y costos de operación unitarios por tipo de vehículo. Es decir, en principio no se considerarán, en los estudios de perfil, los posibles impactos en la red vial (costos de operación, tiempos de viaje) que el proyecto pudiera producir. Evidentemente, si para un cierto estudio a nivel de perfil se cuenta con redes viales modeladas para el área de estudio y matrices de demanda asociadas, éstas pueden ser utilizadas, pues se esperaría que con dichas herramientas se obtengan resultados más precisos que sin ellas.

Para los estudios a nivel de prefactibilidad, la necesidad de modelar explícitamente la red vial debe ser decidida por el analista, en función de los impactos previsibles en dicha red. Si bien los proyectos Tipo II y III involucran impactos a nivel de partición modal, no siempre dicha modificación de la demanda vial genera cambios significativos en los costos de operación vial o en la asignación a la red. Luego, en dicho caso bastará, al igual que lo indicado para la etapa de perfil, establecer los costos viales por par O-D de interés, a partir de la distancia de viaje y costos de operación unitarios obtenidos a partir de las características medias de las vías. Los antecedentes necesarios para caracterizar la red vial pueden ser recopilados de estudios previos, de sistemas de información geográfica existentes (Estrasur, DIRPLAN, otros), cartas camineras (MOP) o directamente en terreno.

De acuerdo con lo anterior, para los estudios a nivel de prefactibilidad, en los casos en que se construya una red vial se deberán recopilar diversos antecedentes de acuerdo con lo que se describe a continuación:

a) *Definición topológica de la red vial*

Una vez definida el área de influencia del estudio y la zonificación a emplear, se deberá analizar la red vial disponible en el área y establecer las vías relevantes para el análisis. Los criterios a emplear son los siguientes:

- Vías que representan alternativas competitivas al proyecto ferroviario en estudio, es decir, deben incluirse todas las vías que conectan los distintos pares O-D que son o serán servidos por el ferrocarril y todas aquellas por las que circulan los servicios de transporte público (buses para pasajeros y camiones para carga) que representan la competencia directa del ferrocarril.
- Vías y caminos que permiten conectar todas las zonas definidas en la zonificación, aún cuando muchos de sus pares O-D no sean servidos por el ferrocarril.
- Otras vías que, aunque no sean las de mayor utilización en la actualidad podrían, en cortes temporales futuros pasar a tener una mayor relevancia, ya sea por existir proyectos programados en ellas o por transformarse en alternativa debido a mejoramientos en otras vías.

b) *Características físicas*

Cada uno de los arcos definidos por la topología de la red vial debe ser caracterizado según lo siguiente:

- Longitud
- Tipo de calzada (simple, doble)
- Número de pistas por sentido
- Tipo de carpeta (pavimentada, no pavimentada)
- Geometría (pendiente y curvatura media)

Los arcos de la red vial quedan definidos naturalmente por las intersecciones entre los caminos, sin embargo, dichos arcos deben ser subdivididos cuando sus características físicas no sean homogéneas, ya que tanto las velocidades de circulación como los costos de operación varían. Tal es el caso de la existencia de tramos en un mismo arco con características geométricas diversas o cambios de estándar (pavimentado, no pavimentado, calzada simple, calzada doble, paso por zona poblada, fricción lateral, etc.). La caracterización geométrica de los arcos podrá ser definida en términos de rangos medios de pendiente y curvatura, mediante una clasificación del tipo: baja, media y alta. En principio, a modo referencial, se proponen los rangos medios presentados en los Cuadros N°5.1 y 5.2.

Cuadro 5-1 Rangos de curvatura para la caracterización de arcos de la red vial

<i>Calificativo</i>	<i>Rango (°/km)</i>	<i>Valor Medio (°/km)</i>
Recto	0 – 30	20
B	30 – 70	50
M	70 – 120	90
A	Más de 120	150

Cuadro 5-2 Rangos de pendiente para la caracterización de arcos de la red vial

<i>Calificativo</i>	<i>Rango (%)</i>	<i>Valor Medio (%)</i>
B	0 – 2	1,0
M	2 – 3	2,5
A	Más de 3	4,0

c) *Caracterización de los servicios de transporte público*

Esta actividad corresponde a la realización de un catastro de los servicios de buses que operan al interior del área de estudio. Fundamental será tener un completo catastro y caracterización de los servicios de buses que pudieran ser competitivos al ferrocarril (en el caso de proyectos de trenes de pasajeros). Para el resto de la red (servicios que no compiten con el tren) también se deberá realizar un catastro, aunque en este caso básicamente persigue reproducir adecuadamente los niveles de flujo de buses en la red y las condiciones de operación en los arcos viales.

La oferta de servicios de buses debe caracterizarse al menos de acuerdo a lo siguiente:

- Origen destino
- Recorrido
- Tipo de servicio (rural, pullman, semi-cama, cama)
- Frecuencia u horarios de salida¹

d) *Funciones Flujo-Tiempo*

Las funciones flujo-tiempo (o flujo-velocidad) son necesarias para la modelación de la red vial. A partir de ellas el modelo determina los tiempos de viaje en la red en función del flujo vehicular. Existen diversas especificaciones de funciones flujo-tiempo: lineales, exponenciales, BPR.

¹ Los servicios de larga distancia, suelen poseer horarios de salida definidos.

La elección de las funciones flujo-tiempo a utilizar deberá ser realizada por el formulador, dependiendo también de la información que se tenga disponible y las restricciones del modelo de asignación a utilizar. Los parámetros de las funciones flujo-tiempo dependen de las características físicas y geométricas de los arcos viales, por lo que deben disponerse de tantos sets de parámetros como clasificación de arcos se hayan realizado en la red vial. En rigor, las funciones flujo-tiempo deben definirse también para cada tipo de vehículo por separado y deben ser consistentes en el valor de la velocidad de todos los tipos de vehículos cuando el flujo llega a la capacidad del arco. En efecto, a flujo libre, la velocidad media de los distintos tipos de vehículos es diferente, pero a capacidad la velocidad de todos ellos es la misma².

En el caso de caminos no pavimentados, dado que los flujos son bajos (característica de su condición de no pavimentado), se estima que no es necesario definir funciones flujo-tiempo, pudiendo considerarse la velocidad a flujo libre en el arco para determinar un tiempo de viaje fijo independiente del nivel de flujo. La velocidad de flujo libre puede determinarse con el uso del modelo HDM4-CH³.

e) *Costos de operación*

A diferencia de lo que sucede en redes urbanas en que la elección de ruta se basa principalmente en el tiempo de viaje (y costos de peajes en la redes con vías tarifadas), en redes interurbanas toman mayor importancia otros costos de operación, tales como el consumo de combustible en el caso de autos y costos de operación totales en el caso de camiones (combustible, neumáticos, mantenimiento del vehículo), por lo que debe determinarse el costo generalizado para cada arco de la red.

La selección de los ítems a incluir en la función de costo generalizado puede determinarse a partir de estudios adhoc. Sin embargo, la experiencia alcanzada a nivel nacional en la modelación de redes viales interurbanas los ha establecido con resultados adecuados. En el caso del transporte privado, se consideran básicamente: el tiempo de viaje, el consumo de combustible y las tarifas de los peajes. En el caso de camiones, suele no considerarse el tiempo de viaje (ya que este posee una mayor correlación con el costo de operación que en el caso de automóviles). En el caso del costo de operación, se suele considerar el costo total sin incluir depreciación, es decir: combustible, lubricantes, neumáticos, repuestos y mano de obra de mantenimiento. Por supuesto, en este caso también se debe incluir en el costo las tarifas de los peajes. Para determinar los costos de operación vehicular de cada arco de la red (nótese que éstos deben estar expresados a valor privado), se debe utilizar el modelo HDM4-CH.

² Debe tenerse presente en la elección del modelo de asignación a utilizar que algunos modelos no permiten definir funciones flujo-tiempo distintas para cada tipo de vehículo, en cambio otros como sí lo permiten.

³ Modelo de costos de operación de vehículos viales desarrollado por el Banco Mundial que ha sido calibrado a las condiciones nacionales en el marco del estudio "Actualización de la Metodología para la Estimación de los Costos de Operación Vehicular" Dirección de Vialidad 2006.

f) *Peajes*

Se debe recopilar toda la información de peajes en la red: ubicación de plazas y tarifas por tipo de vehículo.

g) *Criterios de asignación (Función de Costo Generalizado)*

El comportamiento observable de los usuarios de una red vial ha mostrado que los criterios de elección de ruta se basan tanto en costos objetivos (como el combustible o los peajes) y en costo subjetivos como el tiempo de viaje, el confort, la seguridad, etc. En general, un usuario evitará utilizar un camino no pavimentado no sólo porque el costo de operación es mayor, sino porque es más lento, inconfortable, inseguro, etc. Del mismo modo, existe una preferencia (a igual costo) de utilizar las autopistas con doble calzada por sobre los caminos en calzada simple.

Salvo que se indique la necesidad de estimar modelos de elección de ruta para determinar el costo generalizado de transporte, la modelación podrá ser realizada considerando los parámetros tipo sugeridos por esta metodología. Para el caso de vehículos privados, la percepción subjetiva asociada al tipo de vía se expresa como un ponderador del valor del tiempo. Mientras menor es el estándar de la vía mayor es el ponderador, lo que podría tomarse como que el valor del tiempo es mayor en vías de menor estándar reflejando con ello la menor preferencia de su uso. En el caso de vehículos de carga, en donde típicamente no se considera el tiempo de viaje en la función de costo generalizado, la especificación se expresa a partir de determinar una relación entre el costo de operación y el costo de peaje. Este distinto peso sobre dos ítems que se expresan en la misma unidad, se entiende debido a la correlación existente entre las vías con peaje y su estándar. Luego, los resultados obtenidos muestran consistentemente una mayor ponderación al costo que al peaje, llegando a relaciones costo/peaje del orden de 2 para camiones simples y de 1,3 para camiones pesados.

En los cuadros siguientes se entregan, a modo de referencia, los valores obtenidos en el estudio “Actualización de la Metodología para la Estimación de los Costos de Operación Vehicular” Dirección de Vialidad 2006.

- Función de costo generalizado para un arco vial: Vehículos privados

$$C = \alpha \cdot VST \cdot TV + CComb + Peaje \quad [5-1]$$

α : Ponderador del valor del tiempo según tipo de camino

VST: Valor subjetivo del tiempo

TV: Tiempo de viaje en el arco

CComb: Costo de combustible en el arco

Peaje: Valor del peaje en el arco

Los valores para α obtenidos se presentan en el Cuadro N°5.3.

Cuadro 5-3 Ponderador del Tiempo (α) según tipo de camino

Calzada	Laboral	Festivo
No Pavimentado	2,0	1,6
Pavimentado Simple	1,5	1,3
Pavimentado Doble	1,0	1,0

Fuente: DIRPLAN, 2004

- Función de costo generalizado para un arco vial: Camiones

$$C = \beta \cdot CO + Peaje \quad [5-2]$$

Donde:

β : Ponderador del costo de operación en el arco

CO: Costo de operación en el arco

Peaje: Valor del peaje en el arco

Los valores para β obtenidos se presentan en el Cuadro N°5.4.

Cuadro 5-4 Ponderador del Costo de Operación (β) según tipo de carga y camión

Tipo de Carga	Camión Simple	Camión Articulado
Vacío	2,23	1,36
Agropecuario	1,99	1,21
Forestal	2,02	1,23
Otros	2,79	1,70

Fuente: DIRPLAN, 2004

5.2 Red Ferroviaria

En los estudios a nivel de perfil, los costos operacionales en la red ferroviaria se determinan a partir de costos estándar, asociados al tipo de infraestructura y equipos considerados, por lo que típicamente no será necesario hacer una caracterización detallada de la red. En los estudios a nivel de prefactibilidad, será necesario realizar una detallada caracterización de la red, a fin de modelar y estimar costos de operación de los servicios ferroviarios en ella. Los antecedentes que deben ser recopilados en este caso se describen a continuación.

a) Características físicas y topológicas

En el caso de la red ferroviaria nacional, ésta no presenta mayor complejidad en cuanto a su topología y vías operativas. Para caracterizar la red, se debe recopilar la siguiente información:

- geometría de la vía
- tipo de vía: simple, doble
- capacidad por tramo
- localización de estaciones de movilización y longitud de desvíos (condiciona la longitud de los trenes que pueden operar el tramo)
- velocidades admisibles por tramo para carga y pasajeros

En general, para efecto de la construcción del modelo de simulación, la caracterización de la red ferroviaria requiere de un cierto nivel de detalle.

El modelo computacional OperaTren desarrollado por SECTRA, permite simular la operación de un tren de características específicas sobre una cierta infraestructura, pudiendo estimarse las velocidades de marcha, tiempos de viaje, consumos de energía, entre otros. Este modelo requiere de información detallada de la vía (geometría, estado, velocidades admisibles, etc.), aunque dicha información suele estar disponible, por lo que no representa un problema mayor.

También es posible la utilización de funciones analíticas para determinar costos de energía de trenes tipo, en función de una clasificación de los arcos ferroviarios. Una variable adecuada para la clasificación es la resistencia geométrica, la cual es una agregación de los esfuerzos a los que está sometido el tren por efecto de la pendiente y curvatura horizontal de la vía.

La resistencia geométrica (RG) de un arco se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$RG = P + \frac{500 \cdot T}{R} \quad [5-3]$$

Donde:

- P: es la pendiente del arco en tanto por mil (positiva en subida y negativa en bajada).
- T: es la distancia entre los ejes de los rieles, en mts.(1,746 mts. para trocha de 1,676 mts.)
- R: es el radio de curvatura en mts.

En tramos rectos $RG = P$

Nótese que el efecto de la curvatura horizontal genera la misma resistencia por sentido de circulación, a diferencia de la pendiente, que su signo determina una resistencia positiva o negativa. Esto explica que no exista igualdad en el límite positivo y negativo de las cifras.

Dado que un arco normalmente estará compuesto por varios segmentos rectos y otros curvos, la resistencia geométrica del arco se puede determinar como el promedio ponderado (por distancia) de la resistencia geométrica de cada segmento, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$RG = \frac{1}{L} \sum_i RG_i \cdot l_i \quad [5-4]$$

En EstraSur, modelo que adoptó este enfoque, los arcos de la red ferroviaria se clasificaron en 26 tipos (13 con resistencia geométrica positiva y 13 negativa), de acuerdo con los valores que se muestran en el Cuadro N°5.5.

Cuadro 5-5 Clasificación de Arcos Ferroviarios según Resistencia Geométrica

Nivel	Rango Kg/Ton
1	0,0 - 0,7
2	0,7 - 1,3
3	1,3 - 2,0
4	2,0 - 3,0
5	3,0 - 4,0
6	4,0 - 5,0
7	5,0 - 6,0
8	6,0 - 7,0
9	7,0 - 8,0
10	8,0 - 11,0
11	11,0 - 13,0
12	13,0 - 16,0
13	16,0 - 20,0

Fuente: Análisis y Desarrollo Evaluación Sistema de Transporte Interurbano, XI Etapa. SECTRA 2000

Para cada uno de estos tipos de arco, se dispone de funciones analíticas de consumos energéticos para distintos tipos de trenes de carga y pasajeros. Estas funciones se comentan en el capítulo de determinación de costos de operación ferroviario.

b) *Funciones Flujo – Tiempo*

En cuanto al tiempo de viaje en cada arco ferroviario, éste será normalmente distinto para trenes de pasajeros y de carga. Nótese que en el caso de los trenes, las demoras no se producen en los arcos sino en los nodos (salvo en casos de falla de la vía, eventos e incidentes, pero que para todo efecto pueden considerarse despreciables). Estas demoras se deben a los cruzamientos de los trenes o a la espera de que otro convoy desocupe el bloque siguiente para poder hacer uso de él.

En la operación ferroviaria los trenes de pasajeros poseen preferencia frente a los trenes de carga y, en principio, para condiciones dadas de la operación, ellos deberían cumplir su itinerario. Además, un eventual aumento del tiempo de viaje del tren de pasajeros le hace perder competitividad, por lo que ello debe ser evitado. No así en el caso de los trenes de carga, donde el tiempo de viaje juega un papel mucho menos importante.

Luego, se estima que el tiempo de viaje de trenes de pasajeros debe ser modelado como fijo para cada arco, en función de su itinerario. Para servicios nuevos, los tiempos de viaje pueden ser obtenidos a través de simulación con el modelo OperaTren.

En el caso de la carga, el tiempo de viaje se ve más influenciado por el tráfico debido a que deben dar preferencia a los trenes de pasajeros y también producto de cruzamientos entre trenes de carga. Para estos, se estima más apropiado considerar funciones de flujo-tiempo, a fin de hacer estimaciones de los aumentos de demoras, en particular en cortes temporales futuros.

La velocidad máxima de circulación en cada tramo de la vía férrea depende de sus características geométricas y de su estado de mantenimiento. Muchas veces ocurre en la red ferroviaria nacional que, desde el punto de vista geométrico, la velocidad puede llegar a los 140 o 160 km/hr. Sin embargo, su estado de mantenimiento la restringe a valores inferiores.

Por otra parte, las demoras dependen del tráfico de trenes, pero también de otros aspectos, tales como: tiempo requerido para desocupar el tramo de vía (lo que depende de la distancia entre estaciones de movilización y la velocidad de circulación en el tramo). De esta manera, la determinación de funciones flujo-tiempo resulta ser un tema muy complejo, ya que es muy difícil clasificar la vía en función de todas las variables que inciden.

En EstraSur se construyeron y calibraron funciones flujo-tiempo para trenes de carga, que pueden ser utilizadas o adaptadas a otras situaciones que se requiera modelar. Sin embargo, en su uso debe considerarse un proceso de validación de sus resultados, al menos en el caso de un estudio a nivel de prefactibilidad. Estas funciones específicas para trenes de carga, para tramos de la vía central de EFE y ramales, fueron construidas considerando escenarios asociados a la velocidad media que se puede desarrollar en cada sector (según estándares de la infraestructura). De esta manera, la función construida para un tramo es propia de él y no puede, en principio, ser utilizada en otro tramo. Con este criterio, se debe construir una función específica para cada sector de vía o ramales modelados. Los sectores o tramos considerados en Estrasur son del tipo: Alameda – San Fernando; San Rosendo – Temuco; Concepción – Curanilahue; etc.

La especificación funcional empleada es la siguiente:

$$TV_a = \phi_0 + \phi_1 \cdot F_{pa} + \phi_2 \cdot F_{ca} + \phi_3 \cdot \left(\frac{F_{pa} + F_{ca}}{Cap_a} \right)^{\phi_4} \quad [5-5]$$

Donde:

- TV_a : Tiempo de viaje del tren, en min/km en el arco a.
 F_{ca} : Flujo total de trenes de carga en el arco a (trenes/semana)
 F_{pa} : Flujo total de trenes de pasajeros en el arco a (trenes/semana)

Cap_a : Capacidad en el arco a (trenes/semana)

$\phi_0, \phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$: Parámetros de la función

La calibración de estas funciones es un trabajo complejo y laborioso, en donde no resulta posible llevarlo a cabo a partir de datos observados, por lo que debe hacerse a partir de la simulación de las operaciones ferroviarias en cada tramo característico de la red. Para la modelación de la red ferroviaria deben calibrarse estas funciones por tramo y tipo de tren, o bien pueden ser utilizadas las funciones calibradas en EstraSur u otras existentes. Para utilizar funciones existentes, éstas deben ser previamente validadas y, en caso de ser necesario, adaptadas a la situación que se requiere modelar.

En la formulación de las funciones, el parámetro ϕ_0 representa el tiempo de viaje a flujo libre (min/km). Dado ello, una forma razonable de utilizar estas funciones es seleccionar el escenario más apropiado respecto de la realidad actual o futura de un tramo dado y utilizar la función respectiva, modificando el valor del parámetro ϕ_0 . El valor de ϕ_0 propio para el tramo modelado se puede obtener a partir de simulación con OperaTren⁴.

En el caso de estudios a nivel de perfil, el tiempo de viaje de los trenes de carga puede estimarse a través del juicio experto y considerarse fijo, o bien, utilizar directamente la función que más se acomode de las disponibles, asumiendo un valor de ϕ_0 apropiado. En el Anexo C se entregan los valores de los parámetros asociados a las funciones calibradas en EstraSur.

c) *Caracterización de los servicios ferroviarios*

Dada la modularidad de los trenes, se pueden conformar innumerables configuraciones de convoyes. Dado ello, se hace necesario establecer una tipología de los trenes promedio que circulan en la red estudiada.

Desde el punto de vista del tráfico, un tren, independiente de su conformación, representa una unidad de tráfico. Sin embargo, desde el punto de vista de los costos operacionales, estos dependen de la conformación (número de locomotoras y carros), peso bruto, tipo (en el caso de pasajeros: trenes o automotores), tipo de tracción (eléctrica, diesel). Luego, como no es práctico modelar cada tren en circulación individualmente, se hace necesario agruparlos en categorías, de manera tal de establecer costos con razonable precisión.

La primera diferenciación que debe ser hecha es separar los trenes de pasajeros de los trenes de carga. Es decir, estos son dos tipos de vehículos que comparten la misma infraestructura, pero que tienen costos de operación y velocidades de circulación diferentes. Para cada una de estas categorías se puede establecer las características del

⁴ Este enfoque ya ha sido utilizado en el propio EstraSur.

tren promedio, a fin de determinar valores de costos medios. En este aspecto, EstraSur nuevamente representa un enfoque apropiado de utilizar, además de que provee las funciones analíticas necesarias para la determinación de los costos de los trenes promedio. Una descripción de este procedimiento se expone a continuación.

- Dentro de los trenes de pasajeros o de carga existen también varios tipos diferenciables (por tamaño, tipo de equipo, tipo de tracción, etc.)
- Se determinaron unas pocas subcategorías (por ejemplo, tren de carga diesel corto, automotor de pasajeros eléctrico, automotor diesel, etc.)
- Para cada una de las subcategorías se definieron sus características, principalmente tara media y carga media.
- Se construyeron funciones de costos de operación para cada subcategoría, que permiten estimar los costos de operación de ese tipo en cada arco de la red.
- Finalmente para cada sector de la red se determinó el porcentaje del tráfico que representaba cada subcategoría (separadamente trenes de pasajeros y carga), de manera tal de obtener un promedio representativo del costo.

Es importante, en la caracterización de los trenes de carga promedio, tener presente que existe la circulación de trenes vacíos, ya sea todo el tren o una combinación de carros cargados y vacíos. Muchos de los equipos ferroviarios que se utilizan son especializados, por lo que no transportan carga de retorno. En el caso de los trenes de pasajeros se procede de igual manera, aunque en este caso los servicios son bien conocidos, así como los equipos con que operan, por lo que el cálculo del tren promedio se puede realizar con mayores niveles de precisión.

5.3 Variables de Servicio modos Competitivos

Para el caso de la modelación multimodal de pasajeros, los modelos de partición modal que sean estimados a partir del levantamiento de encuestas de preferencias, deben ser ajustados al comportamiento observado de los usuarios. Para estos efectos es imprescindible determinar el nivel de servicio ofrecido por los modos de transporte disponibles en el área de estudio. Entre la información básica a levantar se considera la siguiente:

- Transporte Público (Buses Rurales, Interurbanos, Ferrocarril y Avión)
 - Servicios ofrecidos (rutas)
 - Frecuencias (horarios de salida)
 - Tarifas por clase
 - Tiempos de viaje en el modo
 - Tiempo y costo de acceso (eventualmente)
- Transporte Privado
 - Tiempo de viaje puerta a puerta
 - Costo de viaje (costos de operación)

- Peajes en carretera

En el caso del transporte público, la información puede ser catastrada directamente en los terminales de los servicios y también a partir de la información que publican las empresas. En el caso del transporte privado, el tiempo de viaje puede ser estimado a partir de la consideración de una velocidad media de operación y la distancia entre cada par O-D de interés o a través de la simulación de la red. El costo de viaje puede determinarse a partir del establecimiento de un costo unitario medio por km y la distancia entre los pares O-D de interés o bien a través del modelo de asignación. En el caso de los peajes, su localización y tarifas es información pública que puede obtenerse en la Dirección de Vialidad, la Coordinación de Concesiones del Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.

Adicionalmente, en algunos casos puede que el uso de modos combinados sea de relevancia, por lo que deben identificarse y considerarse sus variables de servicio, incluyendo tiempos y costos de transbordo. Del mismo modo, también pueden ser relevantes para la modelación de la partición modal los datos de costos y tiempos de acceso. Estos datos usualmente se pueden obtener directamente en las encuestas origen destino a los usuarios de transporte público (bus, tren, avión).

En el caso del transporte de carga, el enfoque propuesto no se basa en la calibración de modelos de partición modal probabilísticos, por lo que no es necesario determinar estas variables de servicio para esos fines. Sin embargo, para el proceso de modelación de la red multimodal de carga es necesario determinar los valores de peaje en las carreteras (afectan la asignación a la red) y los tiempos y costos de transferencia en el caso de transporte multimodal.

6 SITUACIÓN SIN PROYECTO

La situación Sin Proyecto (SP) corresponde a la situación actual optimizada, la cual se determina ejecutando obras de inversión menores o medidas de gestión, factibles y rentables, que mejoren las condiciones de operación ferroviaria o de todo el sistema de transporte multimodal (si procede según el tipo de estudio). En general, pequeñas intervenciones consiguen producir mejoramientos significativos en la operación de los sistemas de transporte, que pueden corresponder a una proporción importante de los beneficios atribuidos al proyecto. Por ello, a fin de evitar la sobrestimación de beneficios, es necesario prestarle especial atención a la definición de la situación base.

Será necesario examinar con cuidado cuál sería la situación SP, determinando si los viajes en el horizonte del estudio se realizarían por el modo ferroviario o por modos distintos (o una proporción en cada uno), introduciendo criterios y proyectos de baja inversión que mejoren las condiciones en que se realizarían dichos viajes. En particular, se debe considerar que:

- El alcance de las eventuales medidas a incluir en la situación SP dependerá de las características de las alternativas de proyecto que se estudien, especialmente en lo relativo al ámbito espacial de análisis, las redes modales involucradas y a la apreciación relativa de las inversiones.
- Es recomendable considerar medidas de gestión, orientadas a abordar problemas de subutilización de capacidad detectados en la etapa de diagnóstico y medidas de mantenimiento de la infraestructura y/o equipos.
- En caso que ninguna de las alternativas evaluadas resulte rentable, se deberá materializar la situación base. Por este motivo la situación SP que se defina debe ser factible de implementar, además de cumplir las normas técnicas de diseño que correspondan.
- Si dentro del horizonte de evaluación la situación SP adquiere un elevado nivel de saturación o de deterioro, es aconsejable plantear mejoramientos en ella en algún corte temporal futuro.
- Deberá incluirse en la situación SP todos los proyectos de infraestructura y servicios de transporte localizados en el área de influencia del proyecto, cuya ejecución ya ha sido aprobada por la autoridad. También deben incluirse aquellos proyectos asociados a otros modos de transporte, si corresponde, según el tipo de proyecto ferroviario que se esté analizando (análisis multimodal).

Una descripción adecuada de la situación SP evita sobre-estimar beneficios y/o sobredimensionar el proyecto. Una buena optimización de la situación base puede cambiar significativamente el dimensionamiento y los beneficios del proyecto. Permitiendo hacer una buena evaluación y evitando gastos innecesarios.

La optimización puede contemplar diferentes acciones tales como:

- Inversiones menores.
- Medidas de gestión.
- Reformas institucionales.
- Redistribución de personal.
- Contratación de personal adicional.
- Aumento de horarios de servicio.
- Reasignación de población.
- Cambios en el uso de la infraestructura.
- Readecuación de recintos.
- Redistribución de equipos.
- Reparaciones menores de infraestructura.
- Reparación de equipos.
- Educación a usuarios.
- Capacitación de personal.
- Informatización.
- Cooperación ciudadana o del sector privado.

En el caso particular de los proyectos ferroviarios, generalmente se considerará como situación SP seguir el patrón estándar de renovación y mantención de la infraestructura y el equipamiento existente. La situación base optimizada, que no debe ser confundida con “no hacer nada”, lo que no es una referencia válida ya que en el tiempo no permitiría cumplir con los estándares mínimos necesarios para una correcta operación.

7 COSTOS DE INVERSIÓN, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN

7.1 Costos de inversión

7.1.1 Elementos básicos de los costos de inversión de infraestructura

El cuadro siguiente muestra el esquema recomendado para los presupuestos de inversión, común para los estudios de perfil y de prefactibilidad. El nivel de detalle, la precisión de las cubicaciones y las estimaciones de precios varían entre perfil y anteproyecto (prefactibilidad), en la forma señalada posteriormente. En el caso de los proyectos de rehabilitación o mejoramiento de vías los elementos pueden ser los mismos, o sólo algunos de ellos, dependiendo del alcance de la rehabilitación o mejoramiento.

Cuadro 7-1 Desagregación de presupuestos de inversión

Ite m	Concepto	Unid	Cant	PU	Total
10	Terrenos	m ²			
11	- Fajas vía	m ²	s/c	UF/m ²	UF
12	- Estaciones	m ²	s/c	UF/m ²	UF
13	- Talleres	m ²	s/c	UF/m ²	UF
20	Movimiento de tierras	m ³			
21	Cortes en roca	m ³	s/c	UF/m ³	UF
22	Cortes terreno semiduro	m ³	s/c	UF/m ³	UF
23	Cortes terreno blando	m ³	s/c	UF/m ³	UF
24	Terraplenes	m ³	s/c	UF/m ³	UF
30	Obras de arte	ml			
31	Alcantarillas	ml	s/c	UF/ml	UF
32	Puentes menores	ml	s/c	UF/ml	UF
33	Puentes mayores	ml	s/c	UF/ml	UF
34	Otras obras de arte	Nº	s/c	s/e	UF
40	Superestructura vía férrea	mlv			
41	Rieles	T	s/c	USD/t	USD
42	Desviadores	Nº	s/c	USD/Nº	USD
43	Durmientes	Nº	s/c	UF/Nº	UF
44	Sujeciones	Nº	s/c	USD-UF/Nº	USD-UF
45	Balasto	m ³	s/c	UF/m ³	UF
46	Instalación	mlv	s/c	UF/mlv	UF

Cuadro 7-1 Desagregación de presupuestos de inversión (continuación)

Item	Concepto	Unid	Cant	PU	Total
50	Electrificación	km			
51	Subestaciones	Nº	s/c	USD-UF/Nº	USD-UF
52	Líneas de alta tensión	km	s/c	UF/km	UF
53	Catenarias plena vía	km	s/c	UF/km	UF
54	Catenarias estaciones	ml	s/c	UF/ml	UF
55	Estructuras de soporte	Nº	s/c	UF/Nº	UF
56	Líneas auxiliares	km	s/c	UF/km	UF
60	Señalización	km			
61	Señales plena vía	km	s/c	USD-UF/km	USD-UF
62	Señales estaciones	Nº	s/c	USD-UF/Nº	USD-UF
63	Centro control tráfico	Nº	s/c	USD-UF/Nº	USD-UF
64	Red de fibra óptica	km	s/c	USD-UF/km	USD-UF
65	Sistema tren a tierra	gl	s/c	USD-UF/km	USD-UF
66	Telefonía directa	km	s/c	USD-UF/km	USD-UF
67	Telefonía conmutada	Nº	s/c	USD-UF/km	USD-UF
70	Edificaciones	m²			
71	Edificios	m²	s/c	UF/m²	UF
72	Pavimentos	m²	s/c	UF/m²	UF
73	Instalaciones	gl	s/c	UF/m²	UF
80	Ingeniería				
81	Ingeniería nacional	gl	s/c	UF	UF
82	Ingeniería extranjera	gl	s/c	USD	USD
90	Inspección y recepción obras	gl		UF	UF

s/c según cubicación

mlv

metros lineales de vía

7.1.2 Infraestructura en los estudios de perfil

En los estudios de perfil se trabaja con valores estándar de costos, ya que los diseños de estos estudios no tienen un grado de detalle que permita una mejor aproximación. En estos estudios las estimaciones de costos pueden hacerse en el nivel de los grupos de conceptos:

10	Terrenos	m²	
20	Movimiento de tierras	m³	
30	Obras de arte	ml	
40	Superestructura de la vía férrea	mlv	
50	Electrificación	km	
60	Señalización y comunicaciones	km	
70	Edificaciones	m²	
80	Ingeniería	gl	(5%)
90	Inspección y recepción de obras	gl	(3%)

Lo anterior, sin perjuicio de la desagregación disponible, proveniente de los proyectos preliminares contenidos en el perfil.

7.1.3 Infraestructura en los estudios de prefactibilidad (anteproyecto)

En el caso de los anteproyectos, la desagregación mínima recomendada es la señalada en el Cuadro 7-1 anterior, para cada tramo homogéneo del proyecto.

Los movimientos de tierras deben considerar los volúmenes de cortes y terraplenes, los diversos tipos de suelos y eventuales mejoras a la calidad de suelos existentes.

Las obras de arte y puentes deben incluir anteproyectos de las mismas, de manera de conocer sus dimensiones y costos aproximados.

La superestructura de la vía férrea incluye rieles, durmientes, sujeciones, balasto y mano de obra, con sus costos actualizados.

En el caso del sistema de electrificación, se incluye las líneas de alimentación en alta tensión, las subestaciones de transformación y/o rectificación, las líneas de alimentación de tracción y los sistemas de telecomando y teledirigida.

Para los sistemas de señalización, se debe incluir los equipos de detección de trenes, las señales, los enclavamientos en estaciones, las máquinas de cambio, los centros de control de tráfico y el sistema de comunicación anexo.

Las comunicaciones comprenden telefonía de operación, a veces telefonía directa, sistema tren a tierra, telefonía de mantenimiento y seguridad, y telefonía administrativa, con sus correspondientes sistemas de soporte, incluyendo la red de fibra óptica.

7.1.4 Proyectos que incluyen equipos rodantes nuevos o reconstruidos

En los estudios de perfil, los precios de los equipos rodantes pueden obtenerse de revistas especializadas⁵, que informan de las inversiones efectuadas en los ferrocarriles del mundo. En los anteproyectos, las características deben ser más precisas, en lo posible provenientes de cotizaciones pro-forma (budgetary quotations).

7.1.5 Rehabilitación de material rodante existente

No es factible estimar en forma previa el costo de una rehabilitación. Para los estudios de perfil es posible utilizar valores reales de rehabilitaciones similares. En caso de estudios de prefactibilidad, es necesario contar con una cotización pro-forma de proveedores reconocidos, especialmente de fabricantes de equipo original, que también prestan estos servicios.

⁵ Publicaciones como Progressive Railroading, Railway Age, IRJ, etc.

7.2 Costos de operación y mantenimiento ferroviario

Los costos operacionales ferroviarios se clasifican como sigue:

- (a) Costos operacionales directos
 - Energía
 - Personal de trenes
 - Mantenimiento de vehículos
 - Otros costos operacionales
- (b) 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
- (c) Costos de estructura
 - Gastos de administración
 - Servicios generales
 - Depreciación de trenes
 - Seguros

En el caso particular de proyectos de pasajeros de la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, también puede considerarse alternativa o complementariamente la metodología desarrollada y contenidos del estudio “Empresa Costo Eficiente”, EFE 2007.

7.2.1 Costos operacionales directos

7.2.1.1 Costos de energía

Para la determinación de los costos de energía en los estudios de perfil puede utilizarse estándares de consumo ya sea de petróleo o de energía eléctrica (l/km o KWH/km). Estos estándares están relacionados con las características de los equipos y de la vía férrea considerados, y deben ser conocidos por los proyectistas.

En los estudios de prefactibilidad el cálculo del consumo de energía debe hacerse con simuladores, como OperaTren u otro TPC.

Los resultados de la simulación deben contrastarse con datos reales de vehículos similares en tramos equivalentes. En el caso de los vehículos diesel los resultados de las simulaciones pueden ser algo inferiores a los reales por factores tales como tiempos excesivos en ralentí, ejecución de maniobras y otros. En el caso de los equipos eléctricos,

a la ejecución de maniobras debe agregarse una estimación por las pérdidas en línea, las que dependen de las características de la red eléctrica.

Cuando el análisis de un proyecto ferroviario considere la modelación de una red ferroviaria con múltiples servicios en operación tanto de trenes de carga como de pasajeros, debe contarse con un modelo de tipo macroscópico, que a partir de información de características físicas, geométricas y operativas (velocidad de circulación) de las vías que conforman la red y las características de los trenes que en ella operan, permita estimar costos energéticos con un nivel de precisión razonable, tanto para replicar la situación actual como para predecir consumos de energía en cortes temporales futuros y frente a la implementación de un proyecto.

Se propone considerar el siguiente tipo de formulaciones para la estimación de los costos energéticos⁶.

Trenes de pasajeros:

$$CE_{ij} = C_{ij} \cdot Tara_i + D_{ij} \cdot Tara_i \cdot Vel_{ij} \quad [7-1]$$

Donde:

CE_{ij} : consumo energético del tren de pasajeros tipo i en el arco tipo j (KWH/tren-km)

$Tara_i$: es el peso del tren de pasajeros tipo i (ton)

Vel_{ij} : es la velocidad de circulación del tren de pasajeros tipo i en el arco tipo j (km/hr)

C_{ij}, D_{ij} : son parámetros de la función según el tipo de tren i y el tipo de arco j

Trenes de Carga:

$$CE_{ij} = A_{ij} \cdot Ton + B_{ij} \cdot Ton_i \cdot Vel_i + C_{ij} \cdot Tara_i + D_{ij} \cdot Tara_i \cdot Vel_{ij} \quad [7-2]$$

Donde:

CE_{ij} : consumo energético del tren de carga tipo i en el arco tipo j (KWH/tren-km)

Ton_i : Peso de la carga (ton)

$Tara_i$: es el peso del tren tipo i

Vel_{ij} : es la velocidad de circulación del tren tipo i en el arco tipo j (km/hr)

⁶ Estas funciones fueron construidas y calibradas en los estudios complementarios de EstraSur.

$A_{ij}, B_{ij}, C_{ij}, D_{ij}$: son parámetros de la función según el tipo de tren i y el tipo de arco j
 Para establecer el consumo medio de un tren de pasajeros o de carga en un arco tipo j :

$$CME_j = \frac{\sum_i t_{ij} \cdot CE_{ij}}{T_j} \quad [7-3]$$

Donde:

CME_j : consumo energético promedio del tren (pasajeros o carga) en el arco tipo j (KWH/tren-km)

t_{ij} : tráfico de trenes (pasajeros o carga) tipo i en el arco j

T_j : tráfico total de trenes (pasajeros o carga) en el arco j

La utilización de funciones analíticas como las anteriores también es una buena alternativa al uso de valores de consumo estándar para proyectos a nivel de perfil, dada la simplicidad de su aplicación.

En el Anexo D se incluyen valores de los parámetros de las funciones de consumos energéticos ferroviarios expuestas anteriormente, junto con la caracterización de los trenes tipo considerados, a fin que sirvan de referencia. En cuanto a la definición de los tipos de arcos ferroviarios, estos corresponden a los indicados en el Anexo C.

Los costos de energía deben calcularse a partir de precios reales del petróleo y la energía eléctrica. En el caso del petróleo, debe tenerse en cuenta que los equipos ferroviarios no están afectos al impuesto específico al petróleo. Desde el punto de vista social, el valor del petróleo es equivalente al publicado por SNI para camiones. En el caso de la energía eléctrica, si bien el costo privado puede estimarse a partir de datos reales de operadores ferroviarios, actualmente SNI no establece un valor social para este ítem. Por ello, para determinar el valor social debe considerarse la desagregación del costo privado en base a los factores sociales habituales (mano de obra, moneda nacional, divisa, impuestos).

7.2.1.2 Personal de trenes

Las remuneraciones del personal de trenes incluyen las de maquinistas, ayudantes de maquinistas, conductores y auxiliares de trenes de pasajeros. La información sobre remuneraciones debe incluir la totalidad del costo que estos agentes tienen para la empresa. Las dotaciones de personal asignadas al proyecto deben ser suficientes para su operación, incluyendo reemplazos y una provisión por turnos incompletos, factor importante en los recorridos de distancia media.

Un estándar utilizado frecuentemente en las estimaciones de dotación es que el personal de trenes trabaja en forma efectiva aproximadamente 2.000 horas anuales, con lo que es posible determinar un valor por hora efectiva en viaje.

Las dotaciones en trenes varían según el tipo de tren (pasajeros o carga). En los servicios de pasajeros la dotación de los trenes está compuesta de un maquinista y un ayudante. Los conductores se utilizan cuando las estaciones no tienen control de acceso a los trenes (torniquetes); son usuales en los trenes de medio y largo recorrido, los que además usualmente llevan un auxiliar por coche. Los trenes de carga llevan normalmente un maquinista y un ayudante de maquinista. Las locomotoras de maniobras llevan sólo un maquinista, aunque el patio proporciona palanqueros.

Al igual que en el caso del consumo energético, cuando se modela una red con múltiples servicios ferroviarios, es posible relacionar el costo por hora para la tripulación promedio (según tipo de tren) con el tiempo total de operación de los trenes en un período determinado.

A través de la estimación de los tiempos de viaje por servicio en la red (tiempos fijos en el caso de trenes de pasajeros y funciones flujo-tiempo en el caso de trenes de carga), es posible obtener el tiempo total consumido en trenes-hr, multiplicando el flujo de trenes en cada arco de la red por el tiempo de viaje en el arco.

En este caso el costo de personal queda dado por:

$$CP_i = CMT_i \cdot \sum_j T_{ij} \cdot TV_{ij} \quad [7-4]$$

Donde:

- CP_i : es el costo total de personal de trenes tipo i (\$/unidad temporal del período modelado⁷)
- CMT_i : es el costo medio de la tripulación del tren tipo i (\$/tren-hr)
- T_{ij} : Flujo de trenes tipo i en el arco j (trenes/unidad temporal del período modelado)
- TV_{ij} : Tiempo de viaje de los trenes tipo i en el arco j (hr)

7.2.1.3 Mantenimiento del equipo rodante

Dentro de los costos de mantenimiento debe incluirse los llamados costos de conservación. La conservación comprende fundamentalmente los servicios proporcionados en línea a trenes de pasajeros y las revisiones previas al despacho de los trenes de carga, tales como:

- Aprovisionamiento de combustible
- Revisiones de pasada
- Reemplazo de zapatas de freno
- Ajuste de carrera de frenos

⁷ Día, mes, año

- Reposición de sellos y mangueras de freno
- Aprovisionamiento de agua
- Cambios de aceite y lubricación
- Aseo de los equipos
- Otros servicios menores

De estos servicios de conservación, es posible separar el aseo de los equipos, que es habitualmente materia de un contrato separado. Como no se dispone de estudios detallados sobre los costos de conservación, el costo de estos servicios deberá ser materia de una estimación. Se sugiere utilizar un 5% de los costos de mantenimiento.⁸

Los costos de mantenimiento incluyen todas las intervenciones tanto preventivas como correctivas, de corto y largo plazo.

Por la misma naturaleza de los contratos de mantenimiento, éstos están expresados en un precio por kilómetro. Estos precios incluyen la amortización de las instalaciones, cuando éstas son privadas. En consecuencia, se propone no considerar por separado los costos de amortización de las instalaciones de mantenimiento.

Si bien los precios indicados en los contratos de mantenimiento reflejan razonablemente los costos reales, en su uso debe guardarse algunas precauciones:

- Habitualmente las intervenciones mayores tienen precios separados, los que deben integrarse a los precios de mantenimiento kilométrico.
- Hay una serie de imprevistos y de costos adicionales, derivados de accidentes, vandalismo y otros incidentes.
- Estos precios tienen una vigencia contractual, aún si están expresados en una unidad monetaria reajutable (como la UF). Para utilizarlos fuera del período de vigencia deben actualizarse.

En términos de la modelación de redes, la inclusión de los costos de mantenimiento del equipo es directa, ya que como se expresa por kilómetro recorrido puede asociarse directamente a cada arco ferroviario. Sin embargo, debe tenerse presente el valor a utilizar debe corresponder al tren promedio que circula por el arco. Dicho valor se determina como:

$$CME_j = \frac{\sum_i t_{ij} \cdot CME_i}{T_j} \quad [7-5]$$

⁸ Estimación del consultor del Manual de Recomendaciones basada en diversos análisis de sistemas explotados por EFE.

Donde:

CME_j :	Costo medio de mantenimiento de material rodante en el arco j (\$/tren-km)
CME_i :	Costo medio de mantenimiento del tren tipo i (\$/tren-km)
t_{ij} :	tráfico de trenes (pasajeros o carga) tipo i en el arco j (trenes/unidad temporal del período modelado)
T_j :	tráfico total de trenes (pasajeros o carga) en el arco j (trenes/unidad temporal del período modelado)

7.2.1.4 Otros costos operacionales directos

Los conceptos contenidos en los otros costos operacionales son:

- Transbordos
- Auxilio de equipos accidentados
- Gastos de venta
- Publicidad y difusión
- Servicios y asesorías
- Otros gastos operacionales

Se recomienda considerar un 3% de los costos operacionales totales para este concepto.⁹ Para la modelación de redes también se puede aplicar un factor ($f=1,03$) asociado a este concepto.

7.2.2 Costos operacionales de infraestructura

7.2.2.1 Mantenimiento de la vía férrea

En los estudios de perfil se recomienda utilizar las fórmulas recomendadas por OperaTren:

- a) Vía con durmientes de hormigón y sujeción elástica

$$C_{v1} = 6.538,328 + 0,416 \cdot KTB \quad [\text{USD/km-año}] \quad [7-6]$$

- b) Vía con durmientes de madera y sujeción elástica

$$C_{v2} = 7.654,659 + 0,489 \cdot KTB \quad [\text{USD/km-año}] \quad [7-7]$$

- c) Vía con durmientes de madera y sujeción rígida

$$C_{v3} = 6.621,850 + 0,779 \cdot KTB \quad [\text{USD/km-año}] \quad [7-8]$$

⁹ Estimación basada en diversos análisis de sistemas explotados por EFE.

En estas expresiones, KTB son los miles de toneladas brutas que circulan por cada kilómetro en el año.

En estudios de pre-factibilidad es conveniente utilizar costos reales de largo plazo, como los que proporcionan los contratos CPIF de EFE. Los contratos CPIF (Contratos de Provisión de Infraestructura Ferroviaria) son contratos de largo plazo en los que el contratista se compromete a mantener las vías en un estándar predeterminado y EFE paga una tarifa por TKB (t-km bruta).

7.2.2.2 Mantenimiento de puentes y obras de arte

El costo de mantenimiento de los puentes se compone de dos factores principales: la pintura y protección de los puentes metálicos, y la construcción o reparación de las defensas fluviales. En lo que se refiere a la pintura, debería consultarse su renovación cada 20 años en zonas húmedas (zona central y sur) y cada 30 años en la zona norte. En general, los puentes de hormigón prácticamente no requieren de mantenimiento durante la vida útil del proyecto (hasta 30 años). En el caso de los puentes metálicos, dados los plazos de evaluación y el costo relativamente bajo de la renovación de la pintura en el año 20, se recomienda no considerar su costo en los estudios de perfil. Para el anteproyecto en los estudios de pre-factibilidad, los costos de pintura de puentes son bien conocidos, ya que estos trabajos se efectúan con contratistas.

En lo que se refiere a las defensas fluviales, su socavación se produce normalmente por cambios en el cauce de los ríos o por crecidas que exceden los caudales de diseño. Ambas circunstancias son imprevistas y se propone no considerar estos costos a no ser que se cuente con información específica sobre frecuencias .

Las obras de arte menores (alcantarillas, puentes menores y otras) por lo general no requieren de mantenimiento estructural por tratarse de obras de hormigón. El único mantenimiento que se requiere es el despeje anual de vegetación y embancamientos, costo que está incluido en el mantenimiento de la vía férrea.

7.2.2.3 Mantenimiento de la electrificación

En general, no hay información de detalle correspondiente al costo de mantenimiento del único sistema electrificado existente, el de EFE.¹⁰

Para los estudios de perfil se propone utilizar un costo estándar de mantenimiento anual del sistema eléctrico igual al 3% de su valor de reposición.¹¹

Para estudios de pre-factibilidad, en la confección de anteproyectos donde se requiere una mayor precisión, es conveniente separar los elementos del sistema para dar un tratamiento diferente a aquellos cuyo desgaste depende del tráfico:

¹⁰ Excluyendo el de Codelco-Teniente y el Ferrocarril de Tocopilla, que son sistemas especiales.

¹¹ Estimación del consultor basada en una vida útil aproximada de 30 años.

- a) Instalaciones fijas en subestaciones
- b) Aparatos y controles en estaciones y subestaciones
- c) Elementos de soporte en estaciones y plena vía
- d) Líneas aéreas en estaciones y plena vía

El mantenimiento de las instalaciones fijas en subestaciones es habitualmente fijo y puede estimarse en un 2% del valor de reposición.

El mantenimiento de los aparatos y controles en subestaciones y zonas de maniobras puede considerarse proporcional al tráfico. Se sugiere la siguiente expresión para estimar el monto del mantenimiento anual:

$$C_{Mac} = (0,02 + \frac{N}{485.000}) \times CR_{ac} \quad [7-9]$$

En que N es el número de trenes que circulan anualmente en el sector alimentado por la subestación y CR_{ac} es el costo de reposición de los aparatos y controles del tramo.

El mantenimiento de los elementos de soporte, como postes, triángulos, pórticos y otros, es habitualmente fijo (excepto en casos de accidentes) y puede estimarse en un 3% del valor de reposición.¹²

El mantenimiento de las líneas aéreas es proporcional al tráfico. Se sugiere la siguiente expresión para estimar el monto del mantenimiento anual:

$$C_{Mla} = (0,01 + \frac{N}{365.000}) \times CR_{la} \quad [7-10]$$

En que N es el número de trenes que circulan anualmente y CR_{la} es el costo de reposición de las líneas aéreas del tramo.

7.2.2.4 Mantenimiento de la señalización y comunicaciones

El criterio para estimar los costos de mantenimiento de los sistemas de señalización y comunicaciones es similar al utilizado para la electrificación. Para los estudios de perfil se propone utilizar un costo estándar de mantenimiento anual del sistema de señalización y comunicaciones igual al 3% de su valor de reposición¹³. Para los estudios de pre-factibilidad, en el anteproyecto se propone la siguiente separación:

- a) Elementos mecánicos en zonas de maniobras
- b) Enclavamientos y señales luminosas
- c) Centros de control de tráfico y aparatos de comunicaciones
- d) Líneas eléctricas y de comunicaciones

¹² Estimación del consultor basada en una vida útil aproximada de 30 años.

¹³ Estimación del consultor basada en una vida útil aproximada de 30 años.

Se considera que los dos primeros conceptos dependen del tráfico, mientras que los dos segundos son fijos. El valor anual del mantenimiento de estos equipos estará dado por los criterios que se propone a continuación.

En el caso de los elementos mecánicos puede utilizarse la expresión:

$$C_{Mem} = (0,02 + \frac{N}{485.000}) \times CR_{em} \quad [7-11]$$

Y en el caso de los enclavamientos y señales la expresión:

$$C_{Mes} = (0,01 + \frac{N}{365.000}) \times CR_{es} \quad [7-12]$$

Para los centros de control de tráfico y aparatos de comunicaciones se propone utilizar un 5% de su valor de reposición. Para las líneas eléctricas y de comunicaciones, se propone utilizar un 3% de su valor de reposición.

7.2.2.5 Movilización de trenes

Los costos de movilización de trenes se refieren básicamente al personal de los puestos de control de tráfico, sean éstos puestos centrales, en los sectores operados mediante CTC (Control de Tráfico Centralizado) o en los sectores en que se moviliza de estación a estación.

En el primer caso puede tratarse de sistemas automáticos o manuales (como es el caso de la movilización por AUV, que es también un sistema centralizado).

En el segundo caso, puede tratarse de sistemas enclavados, como es la movilización por bastón (staff) o movilización telefónica de estación a estación.

En ambos casos, los costos operacionales están dados por las remuneraciones totales del personal involucrado, hasta el nivel de Jefes de Tráfico.

Debe tenerse en cuenta que en las estaciones pequeñas una persona por turno efectúa las funciones de movilizador y Jefe de Estación. En las estaciones grandes, debe estimarse una dotación según las características del proyecto.

7.2.2.6 Operación de estaciones

En la operación de estaciones se debe incluir costos tales como:

- Jefe de Estación
- Cambiadores y personal de patio
- Boleteros
- Aseadores (o contratos de aseo)
- Vigilantes
- Otros gastos de operación de estaciones

Para los estudios de perfil puede utilizarse un valor promedio por estación de USD 24.000 al año. Para los de pre-factibilidad, en el anteproyecto se considera necesario desglosar los costos en la forma señalada arriba, ya que las estaciones tienen tamaños diferentes.

7.2.2.7 Mantenimiento de edificios

Es conveniente separar el mantenimiento de edificios en grupos homogéneos. :

- Estaciones estándar
- Grandes estaciones
- Talleres
- Edificios de administración
- Otros

En los estudios de perfil puede utilizarse un valor promedio por establecimiento:

- Estaciones estándar: 5.000 USD/año
- Grandes estaciones: 20.000 USD/año
- Talleres 10.000 USD/año
- Edificios de administración: 20.000 USD/año
- Otros: 5.000 USD/año

En los estudios de prefactibilidad, para el anteproyecto se considera necesario desglosar los costos en la forma señalada arriba, ya que los edificios tienen tamaños muy diferentes.

7.2.3 Costos de estructura

7.2.3.1 Gastos de administración

Para una adecuada estimación de los gastos de administración y otros gastos generales en el caso de proyectos en ferrocarriles existentes, debe analizarse la estructura de administración existente para determinar la mínima dotación de administración que requerirá el proyecto, considerando que la estructura existente podrá absorber la mayor parte de estas funciones.

Para proyectos enteramente separados – por ejemplo, el establecimiento de un servicio que será concesionado – deberá diseñarse una estructura de administración.

En los estudios de perfil puede utilizarse un valor promedio para los gastos de administración de 5% de los gastos totales. En pre-factibilidad, el anteproyecto debe detallar los costos indicando las dotaciones, incluyendo los cargos ejecutivos.

7.2.3.2 Servicios generales

En este rubro se incluye una serie de servicios misceláneos que se prestan a diversas áreas de la organización, tales como contratos externos de informática, contabilidad, asesorías, publicidad institucional, capacitación y otros de similar naturaleza.

Por su naturaleza, que puede depender de las políticas de administración, estos gastos son muy difíciles de estimar de antemano. Tanto para los estudios de perfil como de prefactibilidad, se propone utilizar una cifra global equivalente al 1% de los costos totales.

7.2.3.3 Depreciación de trenes

Se recomienda considerar la depreciación de los equipos ferroviarios en razón de su vida útil esperada en años de servicio normal, lo que por otra parte coincide con los criterios contables. Los plazos de amortización sugeridos para los diversos equipos se señalan en el Anexo D.

7.2.3.4 Seguros

Las políticas de aseguramiento son variables y, con excepción de los seguros obligatorios, dependen de las políticas de administración de cada empresa.

Un ejemplo de la variedad de políticas de aseguramiento puede hallarse en el estudio Análisis de la Seguridad en el Transporte Ferroviario, del MTT (2008).

Dependiendo de la política de aseguramiento, el costo de los seguros de los vehículos puede variar entre el 1% y el 3% de los costos operacionales totales.¹⁴

7.3 Costos de operación y mantenimiento vial

En proyectos en que se evalúe la realización de un proyecto de infraestructura ferroviaria que reemplazaría, ya sea total o parcialmente, infraestructura vial, puede considerarse el ahorro en costos de operación y mantenimiento vial como beneficio del proyecto. Este ahorro equivaldrá a montos muy bajos en la mayoría de los casos, por lo que puede incluirse en la evaluación este beneficio sólo en los casos en los que haya indicios de que éste será significativo.

7.3.1 Costos de Operación

7.3.1.1 Costos variables

Cuando se considere una red vial de asignación, se deberá determinar con HDM4¹⁵ los costos de operación de cada arco en función de sus características de carpeta, calzada y

¹⁴ Estimación del consultor que realizó el Manual de Recomendaciones basada en costos de aseguramiento de algunos sistemas de EFE.

¹⁵ Se debe utilizar la versión de HDM4 adaptada al caso nacional e implementada en planilla Excel en el marco del estudio "Actualización de la Metodología para la Estimación de los Costos de Operación Vehicular", Dirección de Vialidad, 2005

geometría. Estos costos deberán ser estimados a precios sociales a partir del vector social vigente entregado por el SNI, para efectos de la evaluación social. También deben ser estimados aquellos costos operacionales a valor privado que sean incluidos en la función de costos generalizados para la elección de ruta en la red vial.

En aquellos proyectos en que, ya sea por su tipo, característica o nivel de análisis (perfil), no se considere la construcción de redes viales de asignación, pero se incluya en el análisis los modos viales, es posible determinar a partir del mismo modelo HDM4 valores medios de costos para caminos nacionales a partir de una caracterización media de las carreteras competitivas con el proyecto ferroviario en estudio. Luego, para determinar los costos viales bastará con multiplicar las distancias entre origen y destino, por el flujo entre ellos y el costo medio estimado por kilómetro para cada tipo de vehículo considerado.

En el caso del tiempo de viaje, este es computado por el modelo de asignación cuando se considera una red, o bien, en aquellos casos en que no se utilice un modelo (por ejemplo estudios a nivel perfil), a partir de estimaciones de velocidad media de viaje por modo y la distancia entre los pares origen destino analizados.

En el caso de redes, cuando no se dispone del detalle de las características geométricas de las vías, el enfoque más utilizado para caracterizar los arcos viales es en base a una asignación cualitativa de su pendiente y curvatura (baja, media, alta), con lo cual, en primer lugar, se puede clasificar los arcos en tipos (según las combinaciones) y luego, asignando valores medios de pendiente y curvatura para cada tipo, determinar con HDM4 los costos de operación unitarios asociados.

El modelo HDM4 entrega los costos de operación en base a la siguiente estructura:

- Combustible
- Neumáticos
- Lubricantes
- Repuestos
- Mano de Obra de Mantenimiento
- Depreciación

7.3.1.2 Costos fijos

En el caso de los modos viales públicos (buses y camiones), el modelo HDM4-CH no considera la estimación de costos fijos asociados a la tripulación, administración empresarial, terminales, oficinas, gastos generales, etc. En el caso de proyectos ferroviarios que tengan impacto en la partición modal, se hace necesario determinar estos costos para los modos de transporte público viales considerados en la modelación, ya que estos poseen una estructura diferente a la del ferrocarril y también sus magnitudes pueden ser muy diferentes.

Cuando se determinan los costos totales de operación asociados al ferrocarril se incluyen este tipo de costos, asociados al tráfico adicional de trenes producto de la demanda captada (Situación con Proyecto), luego se debe también determinar estos costos asociados a los modos viales, tanto en Situación Base como con Proyecto. De esta manera, las alternativas modales serán comparadas correctamente en la evaluación social del proyecto.

Para estimar estos valores, lo apropiado sería construir un modelo de costos, tanto para las empresas de buses como de camiones, que operan en el área de estudio. Sin embargo, se entiende que realizar esto para cada estudio de prefactibilidad es poco razonable, ya que los recursos necesarios para su correcta realización son cuantiosos. Por ello, se propone considerar algún modelo de costos existente.

En el caso de buses, una referencia adecuada es el estudio “Análisis del Transporte Internacional”, Subsecretaría de Transportes 2006, el cual se estima es una buena aproximación a la estructura de costos de los buses interurbanos. Es importante que para utilizar este modelo de costos, previamente sean actualizados sus valores a la fecha del vector social vigente publicado por el SNI.

En el caso del transporte de carga por camión, en el estudio “Análisis económico del transporte de carga nacional”, Subsecretaría de Transportes 2010, se determinaron estructuras y costos actualizados para dicha industria, lo cual representa una adecuada referencia para este caso.

Otros datos posibles de utilizar son los disponibles en el estudio “Análisis Implementación Programa de Asesorías de Transporte Terrestre, VI Etapa”, Orden de Trabajo N°7: Eficiencia en el Transporte por Camión, SECTRA 2005. El procedimiento es equivalente al descrito para buses, como también lo es la estructura de costos y los factores sociales a considerar. En el cuadro siguiente se muestran los factores sociales sugeridos para cada componente de la estructura de costos de las empresas de buses y camiones.

Cuadro 7-2 Factores Sociales por Componente de Costos Buses y Camiones

Item	Factor Social
1 Gastos Terminales y Administración	0,98
2 Revisión Técnica	1,00
3 Patente, Seguros Obligatorios y Opcionales (a)	0,00
4 Amortización del bus	1,00
5 Sueldo Tripulación	0,98
6 Combustible	(b)
7 Peajes (c)	0,00
8 Mantenimiento y Repuestos	0,865
9 Otros	1,00

Fuente: “Análisis del Transporte Internacional”, Subsecretaría de Transportes 2006

- (a) La patente es una transferencia; los seguros obligatorios y opcionales se asocian a accidentes de tránsito, por lo que se computan en costos por accidentes.
- (b) El combustible puede ser determinado directamente a precio social a partir del valor definido por el SNI.
- (c) Los peajes no tiene precio social pues son una transferencia entre privados.

Luego, los costos fijos pueden ser estimados a partir de la relación entre éstos y los costos variables, calculados con el modelo en \$/veh-mes. Para ello se determina el valor social de cada ítem en \$/veh-mes y se determina la siguiente relación:

$$f_{CF} = \frac{\text{Costos Fijos}}{\text{Costos Variables}} = \frac{(1+2+5+9)}{(4+6+8)} \quad [7-13]$$

Luego, el costo fijo es:

$$CF_a = f_{CF} \cdot CV_a \quad [7-14]$$

Donde:

CF_a : Costo fijo unitario en el arco a, en \$/veh-km

f_{CF} : Factor de costo fijo estimado con el modelo de costos de buses o de camiones

CV_a : Costo variable en el arco a obtenido con HDM4, en \$/veh-km

Luego, el costo total CF en el arco a (\$/veh-km) de buses y camiones queda dado por:

$$CT_a = CF_a + CV_a \quad [7-15]$$

En los estudios a nivel de perfil, para determinar el costo fijo a precios sociales, se sugiere utilizar para los buses un factor (f_{CF}) de 40%, y para los camiones, un factor (f_{CF}) de 60%.

7.3.2 Costos de Mantenimiento Vial

En el análisis de proyectos ferroviarios, cuando se producen cambios en la partición modal (pasajeros o carga), disminuyen los flujos de buses y/o camiones en la red vial en función de la demanda captada por el ferrocarril. Esto, debiera incidir en una disminución de los costos de mantenimiento vial.

En el caso ferroviario, los costos de mantenimiento de la infraestructura son dependientes del tráfico ferroviario a partir de las toneladas brutas que circulan por kilómetro de vía.

En el caso vial, el costo de mantenimiento se determina a través de la utilización de modelos de deterioro de pavimentos y definición de políticas de conservación. El deterioro de los pavimentos se expresa en términos de rugosidad, por lo que una política de conservación dada sobre un camino producirá ciertos valores de rugosidades en función del tráfico y las condiciones ambientales. Luego, teóricamente, si un proyecto

ferroviario hace disminuir el flujo vehicular en la red vial, ello debiera implicar un menor costo de conservación, para generar una curva de deterioro equivalente a la de la Situación SP.

En el Manual de Carreteras Volumen 1, en la sección 1.403, se describen los modelos de deterioro y conservación de caminos. La metodología indicada en dicha sección puede ser considerada si el proyecto ferroviario produce un impacto en una ruta específica competitiva con el ferrocarril. Sin embargo, cuando se trata de una red vial, resulta necesario considerar un método simplificado, que permita realizar una estimación razonable para todos los arcos viales de la red.

La solución es disponer de una función analítica para el caso vial, similar a la definida para el ferrocarril (sección 7.2.2), con la que se pueda determinar el costo de mantenimiento para cada tipo de carpeta (pavimentado, no pavimentado), en función, por ejemplo, de los ejes equivalentes, número de pistas, zona geográfica, etc. Además, se debe contar también con una estimación de los costos asociados al mantenimiento de puentes, obras de arte y otros elementos viales, para lo cual se sugiere que se estime a través de un factor (por región o macro área) a aplicar al costo de mantenimiento de los pavimentos. Es muy importante que la relación analítica a considerar sea continua y considere costos de largo plazo, de manera tal de reflejar adecuadamente el traspaso de costo por mantenimiento vial a costo por mantenimiento ferroviario, debido al traspaso de demanda hacia el ferrocarril producto del proyecto estudiado.

En la actualidad no se dispone de funciones analíticas como las descritas, razón por la cual es necesario su desarrollo para ser aplicadas y luego incorporadas en esta metodología.

7.4 Costos de Accidentes

7.4.1 General

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

La estimación se basa en la determinación de tasas de accidentabilidad, la cuales deben ser dependientes de variables que sean fácilmente proyectables. El flujo por arco, expresado como millón de veh-km anual (MVK), representa una opción adecuada y fácil de aplicar.

A partir de la recopilación de los datos de accidentes en la red¹⁶, descrito en el Anexo F, se debe determinar tasas específicas para una tipología de arcos presentes en la red (o sectores en el caso ferroviario) y determinar tasas promedio para cada uno de ellos. Para el caso de los accidentes para el modo ferroviario en la situación con proyecto, se

¹⁶ Al menos se debe considerar un período de 3 años

estimaré la tasa de accidentabilidad promedio según el estándar que alcanzará el proyecto, basándose en información recopilada para tramos de vía con estándares similares.

La metodología expuesta a continuación se hizo en concordancia con el documento “Metodología Simplificada de Estimación de Beneficios Sociales por Disminución de Accidentes en Proyectos de Vialidad Interurbana” publicado por SECTRA y MIDEPLAN en 2011.

7.4.2 Costos Unitarios de Accidentes

7.4.2.1 Vector Social de Costos 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. Si dicha componente es incluida, ello modificará sólo el valor unitario de los costos sociales asociados a lesionados, por lo que para efectos de cálculo de los beneficios no se requiere de ningún ajuste metodológico respecto de lo que se expone más adelante.

En los cuadros siguientes, sólo a modo referencial, se presentan los valores determinados para el año 2006.

Cuadro 7-3 Costos Sociales Unitarios Asociados a Lesionados (UF/Accidente)

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

Fuente: “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”, SECTRA 2007

Cuadro 7-4 Costo Medio Social por Daños a Vehículos Viales por Tipo de Accidente (UF/veh)

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

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

En el caso de los accidentes viales sin lesionados el valor propuesto es el siguiente.

Costo Social Unitario Accidentes Viales Sin Lesionados = **41,67 UF/acc.** Este valor incluye tanto el daño en vehículos como los gastos administrativos.

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.

En el cuadro siguiente se presentan los valores unitarios requeridos.

Cuadro 7-5 Costos sociales unitarios accidentes ferroviarios UF)

Item	Atropellos	Colisiones en Cruce A Nivel
Daño Vehículo Liviano (\$/veh)	-	228,77
Daño Vehículo Pesado (\$/veh)	-	459,26
Daño Equipo Ferroviario (\$/tren)	S/I	1724,67
Infraestructura y despeje de la vía (\$/acc)	165,72	231,26

Fuente: “Análisis de la seguridad en el transporte ferroviario”, SUBTRANS 2008

En el caso de los valores unitarios por lesionados según gravedad, estos son los mismos que para los accidentes viales (ver Cuadro 7-3).

7.4.2.2 Actualización Vector de Costos de Accidentes

Se dispone de dos métodos de actualización de los costos sociales unitarios de accidentes. El primero, es un procedimiento simplificado basado en la aplicación de factores correspondientes a la actualización de tres indicadores: Índice General de Remuneraciones, Dólar y UF. El segundo, es un método más complejo que requiere de la actualización de precios de una gran cantidad de variables. Ambos métodos de actualización de los precios sociales de accidentes están implementados en una aplicación computacional desarrollada en el estudio Sectra (2007), referido en los cuadros del punto anterior. Los valores actualizados deben ser publicados por la autoridad cada año. En el caso que las actualizaciones no sean publicadas, se deberá

recurrir al Informe Final del estudio referido, en el cual se describen los métodos de actualización.

En el caso del daño a vehículos en accidentes ferroviarios la actualización de los valores del Cuadro 7-5 se propone efectuarla según lo siguiente. En el caso de los daños a vehículos viales y ferroviarios, se propone actualizarlo a partir del valor de la divisa (repuestos y equipos importados) y el Índice General de Remuneraciones del INE (Mano de obra). Sin embargo, el peso relativo de estos componentes es distinto para vehículos viales y ferroviarios, de acuerdo con lo que se indica a continuación:

$$f_{DMR} = p_r \cdot \frac{Dólar_{AñoAct}}{Dólar_{AñoBase}} + p_{mo} \frac{IGR_{AñoAct}}{IGR_{AñoBase}} \quad [7-16]$$

Donde:

f_{DMR} : factor de actualización costo social por daños a vehículos viales y ferroviarios

p_d : proporción del costo asociado a repuestos y equipamiento:
Vehículos Viales: 60%; Vehículos Ferroviarios: 70%

P_{mo} : proporción del costo asociado a mano de obra:
Vehículos Viales: 40%; Vehículos Ferroviarios: 30%

$AñoAct$: Año de actualización

$AñoBase$: Año base de cálculo de los costos

IGR : Índice General de remuneraciones (Dic2006=105,26)

Finalmente, en el caso de daños a la infraestructura y despeje de la vía, se propone actualizar el precio según la variación de la UF.

7.4.3 Determinación de Costos de Accidentes

El procedimiento general para determinar los costos por 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

7.4.3.1 Costos Accidentes Viales

En el caso vial, la tasa de accidentabilidad varía según las características de la vía: tipo de calzada, tipo de pavimento, estándar de equipamiento de seguridad, etc. De acuerdo con esto, se deben clasificar los arcos de la red según:

- Camino no pavimentado
- Camino pavimentado calzada simple
- Camino pavimentado calzada simple concesionado
- Camino calzada doble
- Autopista concesionada

En el caso de los accidentes, estos deben ser clasificados según:

- Atropello
- Colisión
- Choque
- Volcadura

a) Determinación Tasas de Accidentabilidad

A partir de la clasificación definida, se determinan las tasas promedio de accidente por tipo de arco de acuerdo con lo siguiente:

$$TA_k^i = \frac{ACC_k^i}{MVK_k} \quad [7-17]$$

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. Se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$MVK_k = \frac{\sum_p \sum_j FV_j^k \cdot L_j^k \cdot f_p}{1000000} \quad [7-18]$$

FV_j^k : Flujo vehicular en el arco j, del tipo k, en el período p, en veh/unidad temporal del período p

L_j^k : Longitud del arco j, del tipo k, en kilómetros

f_p : Factor de expansión anual del período p, en unidad temporal del período p/año

A partir de lo anterior, se obtendrán tasas de accidentabilidad por unidad de flujo, lo cual permitirá estimar, para la Situación Base y con Proyecto, el número de accidentes por tipo en cada corte temporal a partir de los flujos por arco obtenidos de la modelación de la red.

Un aspecto que se debe tener en cuenta es que la red modelada posea pocos kilómetros de caminos de alguno de los tipos definidos, haciendo que la tasa de accidentabilidad calculada sea poco representativa. En estos casos, se sugiere utilizar para dicho tipo de camino las tasas de accidentabilidad que se muestran en el Cuadro 7-6.

Dichas tasas pueden también ser utilizadas directamente en estudios a nivel de perfil o en aquellos casos en que no se disponga de otra información.

Los accidentes viales totales de cada tipo en la red se determinan de acuerdo a la siguiente expresión:

$$AVT_k^i = \sum_a TA_k^i \cdot \delta_k(a) \cdot MVK_a \quad [7-19]$$

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

Cuadro 7-6 Tasas Medias de Accidentes por Tipo de Camino

Macro Región ¹⁷	Tipo de camino	Tasa de accidentes (acc/10 millones veh-km)				
		Atropello	Choque	Colisión	Volcadur a	Otro
Norte (I a IV y XV región)	1 ó 2 pistas no pavimentadas	0,36	0,50	1,31	4,76	0,05
	2 pistas pavimentadas	0,22	0,32	0,57	1,11	0,03
	4 pistas pavimentadas	0,61	0,61	0,00	0,61	0,00
	Autopista	0,11	0,44	0,50	0,55	0,03
Centro (RM y V región)	1 ó 2 pistas no pavimentadas	1,30	2,29	3,06	2,75	0,15
	2 pistas pavimentadas	0,41	0,59	1,07	0,72	0,07
	4 pistas pavimentadas	0,58	0,39	1,58	0,18	0,07
	Autopista	0,22	0,51	0,83	0,44	0,02
Sur (VI a X y XIV región)	1 ó 2 pistas no pavimentadas	1,24	0,94	2,12	2,33	0,14
	2 pistas pavimentadas	0,75	0,53	1,46	0,76	0,04
	4 pistas pavimentadas	0,92	1,19	1,68	0,30	0,07
	Autopista	0,43	0,42	0,79	0,53	0,02

Fuente: Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas", SECTRA 2007.

b) Determinación Costos Sociales Accidentes Viales

Para determinar el costo social asociado a cada situación (base o proyecto), se deberá determinar el costo social medio unitario de cada tipo de accidente, para cada tipo de arco, de acuerdo con la siguiente expresión.

$$CSU_i = CVL_i * NVL_i + CVP_i * NVP_i + CLL * NLL_i + CLM * NLM_i + CLG * NLG_i + CF * NF_i \quad [7-20]$$

Donde:

CSU_i : Costo social medio del accidente tipo i, en \$/acc

CVL_i : Costo por daños materiales de un vehículo liviano en un accidente tipo i, en \$/veh

¹⁷ No existe información suficiente para determinar tasas de accidentes asociadas a la zona austral (XI y XII región).

CVP_i :	Costo por daños materiales de un vehículo pesado en un accidente tipo i, \$/veh
CLL :	Costo de un lesionado leve, en \$/lesionado
CLM :	Costo de un lesionado menos grave, en \$/lesionado
CLG :	Costo de un lesionado grave, en \$/lesionado
CF :	Costo de un fallecido, en \$/fallecido
NVL_i :	Cantidad de vehículos livianos involucrados en el accidente promedio tipo i, en vehículos/accidente
NVP_i :	Cantidad de vehículos pesados involucrados en el accidente promedio del tipo i, en vehículos/accidente
NLL_i :	Cantidad de lesionados leves en el accidente promedio del tipo i, en lesionados/accidente
NLM_i :	Cantidad de lesionados menos graves en el accidente promedio del tipo i, en lesionados/accidente
NLG_i :	Cantidad de lesionados graves en el accidente promedio del tipo i, en lesionados/accidente
NF_i :	Cantidad de fallecidos en el accidente promedio del tipo i, en lesionados/accidente

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

$$NVeh_i = \frac{\sum Veh_i}{NA_i} \quad [7-21]$$

$$NVic_i = \frac{\sum Vic_i}{NA_i} \quad [7-22]$$

Donde:

$NVeh_{ij}$:	Cantidad Promedio de vehículos por accidente tipo i y con Veh: vehículo liviano (VL); vehículo pesado (VP).
$NVic_{ij}$:	Cantidad Promedio de víctimas por accidente tipo i y con Vic: lesionados leves (LL); lesionados menos graves (LM); lesionados graves (LG); fallecidos (F).
NA_i :	Número de accidentes tipo i
Veh_{ij} :	Número de vehículos involucrados en accidentes tipo i y con j: tipo de vehículo.

Vehij: Número de víctimas involucradas en accidentes tipo i y con j; nivel de gravedad de lesión.

Tipo de Accidentes: atropellos, choques, colisiones, volcaduras

Tipo de vehículos: livianos, pesados

Nivel de gravedad de lesión: fallecidos, lesionados graves, lesionados menos graves, lesionados leves.

En el caso de no contar con información o para el desarrollo de estudio a nivel de perfil, se puede considerar las tasas de participación de vehículos presentadas en el Cuadro 7-7 y tasas por tipos de lesionados en el Cuadro 7-8.

Cuadro 7-7 Tasas de participación de vehículos

Macro Región	Tipo de camino	Tipo Veh.	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura	Todos
Norte (I a IV y XV región)	1 ó 2 pistas no pavimentadas	V. Livianos	0,75	0,73	1,62	0,82	0,96
		V. Pesados	0,25	0,36	0,41	0,18	0,24
	2 pistas pavimentadas	V. Livianos	0,77	1,11	1,33	0,74	0,95
		V. Pesados	0,24	0,41	0,63	0,27	0,38
	4 pistas pavimentadas	V. Livianos	0,88	1,27	1,68	0,60	1,38
		V. Pesados	0,13	0,55	0,61	0,60	0,50
	Autopista	V. Livianos	0,93	0,80	0,82	0,63	0,76
		V. Pesados	0,07	0,31	1,15	0,37	0,57
Centro (RM y V región)	1 ó 2 pistas no pavimentadas	V. Livianos	0,65	1,07	1,40	0,72	1,02
		V. Pesados	0,35	0,07	0,38	0,28	0,27
	2 pistas pavimentadas	V. Livianos	0,83	1,05	1,40	0,78	1,08
		V. Pesados	0,17	0,23	0,43	0,21	0,29
	4 pistas pavimentadas	V. Livianos	0,88	1,27	1,68	0,60	1,38
		V. Pesados	0,13	0,55	0,61	0,60	0,50
	Autopista	V. Livianos	0,80	0,93	1,32	0,70	1,03
		V. Pesados	0,26	0,32	0,75	0,27	0,48
Sur (VI a X y XIV región)	1 ó 2 pistas no pavimentadas	V. Livianos	0,85	0,97	1,39	0,86	1,04
		V. Pesados	0,15	0,23	0,36	0,12	0,22
	2 pistas pavimentadas	V. Livianos	0,77	0,98	1,20	0,78	0,98
		V. Pesados	0,22	0,36	0,47	0,22	0,35
	4 pistas pavimentadas	V. Livianos	0,68	1,03	1,22	0,89	1,02
		V. Pesados	0,39	0,58	0,67	0,11	0,54
	Autopista	V. Livianos	0,77	0,95	0,95	0,71	0,86
		V. Pesados	0,27	0,40	0,98	0,30	0,56

Fuente: Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas", SECTRA 2007.

Cuadro 7-8 Tasa de participación de víctimas

Macrozona	Tipo camino	Tipo accidente	Muertos	Graves	Menos Graves	Leves
Norte (I a IV y XV región)	1 ó 2 pistas no pavimentadas	Atropello	0,38	0,50	0,13	0,13
		Choque	0,18	0,18	0,55	1,64
		Colisión	0,17	0,28	0,38	2,14
		Volcadura	0,10	0,58	0,38	1,70
		Todos	0,14	0,49	0,38	1,70
	2 pistas pavimentadas	Atropello	0,45	0,29	0,08	0,44
		Choque	0,10	0,32	0,26	1,20
		Colisión	0,28	0,68	0,46	2,19
		Volcadura	0,13	0,49	0,31	1,50
		Todos	0,20	0,49	0,32	1,53
	4 pistas pavimentadas	Atropello	0,44	0,31	0,06	0,38
		Choque	0,27	0,18	0,73	0,91
		Colisión	0,07	0,34	0,18	1,43
		Volcadura	0,00	0,00	0,20	3,40
		Todos	0,17	0,29	0,24	1,26
	Autopista	Atropello	0,56	0,30	0,07	0,25
		Choque	0,07	0,55	0,35	1,09
		Colisión	0,19	0,39	0,29	1,58
		Volcadura	0,10	0,63	0,35	1,34
		Todos	0,16	0,51	0,31	1,27
Centro (RM y V región)	1 ó 2 pistas no pavimentadas	Atropello	0,35	0,47	0,18	0,41
		Choque	0,13	0,30	0,17	0,97
		Colisión	0,15	0,28	0,20	1,20
		Volcadura	0,17	0,31	0,64	1,03
		Todos	0,18	0,32	0,32	0,98
	2 pistas pavimentadas	Atropello	0,33	0,31	0,18	0,30
		Choque	0,11	0,30	0,23	1,36
		Colisión	0,11	0,33	0,25	1,57
		Volcadura	0,12	0,39	0,32	1,95
		Todos	0,15	0,34	0,26	1,44
	4 pistas pavimentadas	Atropello	0,44	0,31	0,06	0,38
		Choque	0,27	0,18	0,73	0,91
		Colisión	0,07	0,34	0,18	1,43
		Volcadura	0,00	0,00	0,20	3,40
		Todos	0,17	0,29	0,24	1,26
	Autopista	Atropello	0,53	0,31	0,06	0,33
		Choque	0,07	0,39	0,23	1,31
		Colisión	0,14	0,43	0,34	1,89
		Volcadura	0,10	0,36	0,28	1,38
		Todos	0,16	0,39	0,27	1,46

Fuente: Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas", SECTRA 2007.

Cuadro 7-8 Tasa de participación de víctimas (continuación)

Macrozona	Tipo camino	Tipo accidente	Muertos	Graves	Menos Graves	Leves
Sur (VI a X y XIV región)	1 ó 2 pistas no pavimentadas	Atropello	0,32	0,33	0,18	0,44
		Choque	0,16	0,39	0,27	1,47
		Colisión	0,09	0,31	0,33	1,53
		Volcadura	0,11	0,35	0,21	1,75
		Todos	0,14	0,34	0,25	1,42
	2 pistas pavimentadas	Atropello	0,47	0,31	0,11	0,29
		Choque	0,11	0,44	0,27	1,46
		Colisión	0,21	0,53	0,29	1,43
		Volcadura	0,13	0,43	0,28	1,56
		Todos	0,23	0,45	0,24	1,22
	4 pistas pavimentadas	Atropello	0,36	0,39	0,11	0,32
		Choque	0,08	0,36	0,25	1,42
		Colisión	0,12	0,33	0,25	2,22
		Volcadura	0,11	0,44	0,11	2,22
		Todos	0,16	0,36	0,21	1,56
	Autopista	Atropello	0,59	0,29	0,07	0,22
		Choque	0,13	0,36	0,29	1,33
		Colisión	0,21	0,54	0,38	1,78
		Volcadura	0,08	0,39	0,35	1,60
		Todos	0,24	0,42	0,29	1,34

Fuente: Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas", SECTRA 2007.

Una vez determinado el costo social medio de cada tipo de accidente en cada tipo de arco, el costo total se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CSA^t(S) = \sum_i \sum_k AVT_k^{ti}(S) \cdot CSU_k^i \quad [7-23]$$

Donde:

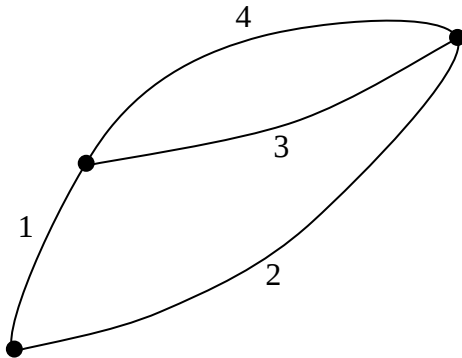
$CSA^t(S)$ es el costo social total anual por accidentes en el año t, para la Situación S: Base o Alternativa de Proyecto, en \$/año.

AVT_S^{ti} es la cantidad de accidentes viales totales anuales del tipo i, para el año t, para la Situación S: Base o Alternativa de Proyecto, en acc/año.

CSU^i es el valor social unitario del accidente tipo i en los arcos del tipo k, en \$/acc.

c) Ejemplo de Aplicación

Supóngase la siguiente red vial en la zona central compuesta por los arcos 1, 2, 3 y 4:



Cuadro 7-9 Características Arcos

Arco	Long. (km)	Tipo	MVK
1	5	2 pistas, Pav.	1,5
2	12	Autopista	36,0
3	7	2 pistas, no pav.	0,2
4	8	2 pistas, Pav.	3,2

Las tasas de accidentabilidad por tipo de accidente para cada arco son¹⁸:

Cuadro 7-10 Tasas de accidentabilidad por tipo de arco

Arcos	Tasa de accidentes (acc/10 millones veh-km)			
	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura
1, 4	0,41	0,59	1,07	0,72
2	0,22	0,51	0,83	0,44
3	1,30	2,29	3,06	2,75

Aplicando la ecuación [8-19] se obtiene el total de accidentes en la red por tipo de arco y tipo de accidente:

Cuadro 7-11 Accidentes Totales Anuales (Acc/año)

Tipo Arco	Arco s	Total Accidentes por Año			
		Atropello	Choque	Colisión	Volcadura
2 pistas, Pav.	1, 4	0,19	0,28	0,5	0,34
Autopista	2	0,79	1,84	2,99	1,58
2 pistas, no pav.	3	0,03	0,05	0,06	0,06

Por otra parte, se determina el costo medio de los tipos de accidentes según tipo de arco. Las tasas de participación por tipo de accidentes se muestran en el cuadro siguiente¹⁹.

¹⁸ Se utilizaron los valores del Cuadro 7-6

¹⁹ Se utilizan los valores del Cuadro 7-7 y del Cuadro 7-8

Cuadro 7-12 Tasas de participación de vehículos (veh/acc)

Arcos	Tipo de camino	Tipo Veh.	Atropello	Choque	Colisión	Volcadur a
1, 4	2 pistas pavimentadas	V. Livianos	0,83	1,05	1,40	0,78
		V. Pesados	0,17	0,23	0,43	0,21
2	Autopista	V. Livianos	0,80	0,93	1,32	0,70
		V. Pesados	0,26	0,32	0,75	0,27
3	1 ó 2 pistas no pavimentadas	V. Livianos	0,65	1,07	1,40	0,72
		V. Pesados	0,35	0,07	0,38	0,28

Cuadro 7-13 Tasas de participación de víctimas (vic/acc)

Arcos	Tipo camino	Tipo accidente	Muertos	Graves	Menos Graves	Leves
1, 4	2 pistas pavimentadas	Atropello	0,33	0,31	0,18	0,30
		Choque	0,11	0,30	0,23	1,36
		Colisión	0,11	0,33	0,25	1,57
		Volcadura	0,12	0,39	0,32	1,95
2	Autopista	Atropello	0,53	0,31	0,06	0,33
		Choque	0,07	0,39	0,23	1,31
		Colisión	0,14	0,43	0,34	1,89
		Volcadura	0,10	0,36	0,28	1,38
3	1 ó 2 pistas no pavimentadas	Atropello	0,35	0,47	0,18	0,41
		Choque	0,13	0,30	0,17	0,97
		Colisión	0,15	0,28	0,20	1,20
		Volcadura	0,17	0,31	0,64	1,03

Luego, aplicando la ecuación [8-20], utilizando los datos de los cuadros anteriores y los valores unitarios de costos del Cuadro 7-3 y

Cuadro 7-4, se obtiene:

Cuadro 7-14: Costo medio por tipo de accidente y tipo de arco

Arcos	Tipo camino	Atropello	Choque	Colisión	Volcadura
1, 4	2 pistas pavimentadas	23.862.577	12.080.310	14.378.449	14.876.772
2	Autopista	37.678.698	9.737.293	18.470.686	13.819.620
3	1 ó 2 pistas no pavimentadas	25.767.379	12.462.464	16.177.867	18.296.823

Luego, el costo anual (en \$ de 2006) para el año y situación en análisis por accidentes de tránsito para esta red es la suma de los productos celda a celda del Cuadro 7-11 y Cuadro 7-14.

$$CSA = 148.373.471 \quad \$ / \text{año}$$

7.4.3.2 Determinación de Costos de Accidentes Ferroviarios

En el caso ferroviario, el procedimiento metodológico es equivalente al del caso vial.

Dado que los accidentes involucran participantes ajenos al tren (accidentes externos), las tasas de accidentabilidad varían más por las características del entorno de la vía que por las características de la vía misma. Es decir, las tasas de atropellos son significativamente más elevadas en los sectores con mayor densidad poblacional aledaña a la vía. En el caso de los cruces a nivel, se pueden diferenciar según el tipo de regulación del cruce (barreras automáticas, guardacruzada, sólo señal PARE, etc.) y el estatus del cruce (cruce autorizado, cruce ilegal) y, por supuesto, el flujo vial que atraviesa por ellos.

En general, para la Situación Sin Proyecto no será problema determinar los costos de accidentes ferroviarios externos para la red modelada, ya que dicha información es posible obtenerla en detalle, pudiendo establecer las tasas por sector y tipo de cruce sin problemas en función del tráfico ferroviario que circula en cada lugar.

En el caso de la Situación Con Proyecto, el tramo de vía sujeto a proyecto debe ser analizado asimilando las características que el proyecto le dará a las de otro sector en donde se disponga de datos de accidentes.

A modo de ejemplo, si en el tramo sujeto a proyecto se mejora un cruce a nivel incorporando elementos de seguridad que en la situación base no tenía, la estimación de la accidentabilidad en ese cruce en la situación con proyecto debe hacerse considerando una tasa de accidentabilidad de otro cruce existente de características similares (idealmente el promedio de varios cruces del mismo tipo). El confinamiento de la vía, si bien no elimina los atropellos en plena vía, reduce su ocurrencia, por lo que si el proyecto considera el confinamiento de un tramo, para determinar la cantidad de atropellos se debe considerar la tasa de atropellos de un sector similar (en cuanto a su entorno y densidad poblacional) que ya se encuentre confinado.

PARTE II

EVALUACION DE PROYECTOS FERROVIARIOS

8 ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS

En la evaluación social los beneficios directos corresponden al ahorro de recursos reales entre la situación SP y la situación CP, valorizados a precios sociales, de manera que reflejen la escasez o productividad alternativa (costo de oportunidad) de cada recurso. Sin embargo, un aspecto que queda excluido en este enfoque es cuando las alternativas comparadas no proveen el mismo nivel de servicio o calidad, aspecto que suele ser altamente valorado por los usuarios y se expresa en su elección de modo o servicio.

Los atributos que componen el nivel de servicio del modo ferroviario son variables, entre ellas, la frecuencia entre salidas, el tiempo de viaje, la comodidad, los servicios a bordo y, en general, cualquier variable que aparezca en la formulación de las expresiones de la utilidad de los usuarios, incluidas en los modelos de demanda. Por ello un problema frecuente en evaluación de proyectos de transporte comparar alternativas con diferente nivel de servicio. Asimismo, existen otros costos y beneficios que resultan de cambios en los niveles de contaminación atmosférica y acústica, y otros. Estos son considerados como externalidades del proyecto y su metodología de tratamiento se presenta posteriormente.

Un método utilizado se basa en el uso del excedente del consumidor Marshalliano, definido como el área bajo la curva de demanda. En esta perspectiva, se considera como beneficio a la variación de este excedente entre la situación CP y SP. Este enfoque será llamado en lo sucesivo "evaluación por beneficio a usuarios".

De acuerdo con lo anterior, los beneficios de un proyecto provienen de tres fuentes distintas:

- Beneficios por consumo de recursos
 - Tiempo de viaje
 - Costos de operación
 - Tamaños de flota requeridos (transporte público de pasajeros y carga)
 - Costos de mantenimiento de la infraestructura
 - Accidentes
- Beneficios por mejoramiento de la calidad de servicio (beneficio a usuarios)
- Externalidades.

8.1 Beneficios por Consumo de Recursos

8.1.1 *Tiempo de Viaje*

La modelación de la operación del transporte, tanto en la Situación SP como CP y para todos los modos de transporte considerados, permite estimar los tiempos de viaje asociados a los usuarios que se movilizan en la red. Para determinar los beneficios del proyecto, es necesario valorar el tiempo de viaje consumido por los usuarios de la red considerando el modo de transporte en el que viajan. Para esto, el SNI determina y publica anualmente los valores sociales del tiempo que deben ser considerados.

Existen dos casos posibles en la valoración del tiempo que determina la autoridad: un valor por pasajero diferenciado por modo de transporte (caso actual); un valor por pasajero único e igual para todos los modos de transporte.

En el caso que el valor del tiempo por pasajero sea diferenciado según el tipo de vehículo en que se transporta (por modo), se producen cambios en la partición modal de la demanda, al estar asociado el valor al vehículo o modo, se presenta el problema de que el valor del tiempo asignado a un usuario no tiene porqué cambiar si éste se cambia de modo de transporte. En general, los proyectos ferroviarios, tanto de pasajeros como de carga, involucrarán cambios en la partición modal.

Si el valor del tiempo es diferenciado por tipo de vehículo, se debe considerar que los valores unitarios de \$/pax-h asociados al vehículo representan un valor base y se aplican directamente a los usuarios de cada tipo de vehículo en la Situación SP. Luego, en la Situación CP, todo usuario que cambia de modo debe considerar el valor social del tiempo del nuevo modo CP. Es decir, para la situación CP se calcula el costo global por consumo de tiempo conjuntamente para la demanda que se mantuvo en su modo original de aquella que se cambió de modo. Para esto, se requiere que los valores del tiempo estén expresados por pasajero y no por vehículo, aunque sigan siendo diferentes según el tipo de vehículo o modo.

Si el valor del tiempo está definido como un promedio para todas las personas, independientemente del modo en que se transportan, al tener todos los usuarios el mismo valor del tiempo, no se producen inconsistencias en el cálculo al traspasarse usuarios de un modo a otro.

En el caso de la carga, no existe este problema, por cuanto el tiempo de viaje está asociado a la tripulación del vehículo (conductor o maquinista, ayudante o auxiliar, etc.) y no a la carga, que es la que se transfiere de un modo a otro. Aún si el valor del tiempo de quienes tripulan camiones y trenes es distinto, no hay problema, pues ellos no se transfieren de modo. Por otra parte, si la carga tuviera asociado un valor del tiempo (\$/ton-h), éste no tendría por qué ser distinto si ésta se transporta en uno u otro modo.

Finalmente, 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 SP menos el costo

social total por tiempo de viaje en la Situación CP. En el Anexo C se desarrollan en detalle las funciones flujo – tiempo.

El costo total por tiempo de viaje asociado a pasajeros se determina con la siguiente expresión:

$$CTV(S) = \sum_p \sum_m \sum_j P_{mj}^p(S) * TV_{mj}^p(S) * VST_m * f^p \quad [8-1]$$

Donde:

$CTV(S)$: Costo total por tiempo de viaje, en \$/año, en la situación S: SP; Alternativa de Proyecto (P),

$P_{mj}^p(S)$: Flujo de pasajeros en la situación S: SP; Alternativa de Proyecto, en el arco j, en el modo m, en el período p, en pax/unidad temporal del período p.

$TV_{mj}^p(S)$: Tiempo de viaje en la situación S: SP y CP; Alternativa de Proyecto, para el arco j, en el modo m, en el período p, en horas/pax.

VST_m : Valor social del tiempo para el pasajero en el modo m (en el caso de que el valor del tiempo esté determinado asociado al vehículo, el modo m siempre debe corresponder a aquel que utiliza en la situación SP, de manera tal de no cambiar su valor del tiempo debido al cambio de modo en la situación CP, aunque evidentemente sí cambia su tiempo de viaje).

f^p : Factor de expansión anual del período p, en unidad temporal del período p/año.

En el caso del transporte de carga:

$$CTV(S) = \sum_p \sum_m \sum_j F_{mj}^p(S) * TV_{mj}^p(S) * VST_m * f^p + \sum_p \sum_m \sum_j C_{mj}^p(S) * TV_{mj}^p(S) * VST_c * f^p \quad [8-2]$$

Donde, la primera componente corresponde al tiempo de viaje asociado a los vehículos (tripulación) y la segunda componente corresponde al tiempo de viaje asociado a la carga, con:

$CTV(S)$: Costo total por tiempo de viaje en la Situación SP (SP) o CP (P), en \$/año.

$F_{mj}^p(S)$: Flujo vehicular del modo m, en el arco j, en la situación SP o CP, en el período p, en veh/unidad temporal del período p.

$TV_{mj}^p(S)$: Tiempo de viaje en el arco j, en la situación SP o CP, para en el modo m, en el período p, en horas.

VST_m : Valor social del tiempo para el vehículo del modo m.

$C_{mj}^p(S)$: Flujo de carga en el modo m, en el arco j, en la situación SP o CP, en el período p, en ton/unidad temporal del período p.

VST_c : Valor social del tiempo para la carga (\$/ton-h). Nótese que si no se define un valor social del tiempo para la carga, este parámetro es igual a cero, anulando con ello la segunda componente de la expresión.

f^p : Factor de expansión anual del período p, en unidad temporal del período p/año.

Luego, los beneficios anuales por tiempo de viaje del proyecto quedan dados por:

$$B_{TV} = [CTV(Base)_{PAX} + CTV(Base)_{CARGA}] - [CTV(Proy)_{PAX} + CTV(Proy)_{CARGA}] \quad [8-3]$$

8.1.2 Costos de Operación

Estos costos están asociados a la operación de los vehículos (incluidos sus costos fijos). Los beneficios se obtienen de la diferencia entre la Situación SP y CP. Se debe separar el cálculo de los costos de operación asociados al proyecto ferroviario de los correspondientes a la red multimodal (cuando ella exista). Esto dado que los costos asociados directamente al proyecto poseen un proceso de estimación diferenciado y específico, a diferencia de los costos de la red multimodal que se determinan a partir de funciones analíticas y valores unitarios por arco o par O-D.

Para determinar los costos de operación totales en la red en la Situación SP y CP, se utiliza la siguiente expresión:

$$COT(S) = \sum_p \sum_v \sum_j F_{vj}^p(S) * CO_{vj}^p(S) * L_j(S) * f^p \quad [8-4]$$

Donde:

$COT(S)$: Costo total de operación en la red multimodal, en la situación S: SP; Alternativa de Proyecto, en \$/año.

$F_{vj}^p(S)$: Flujo vehicular del vehículo v, en el arco j, en la situación S: SP; Alternativa de Proyecto, en el período p, en veh/unidad temporal del período p.

$CO_{vj}^p(S)$: Costo de operación unitario del vehículo v, en el arco j, en la situación S: SP; Alternativa de Proyecto, en \$/veh-km.

$L_j(S)$: Longitud del arco j, en la situación S: SP; Alternativa de Proyecto en km.

f^p : Factor de expansión anual del período p, en unidad temporal del período p/año.

Los costos unitarios por veh-km para cada modo considerado en la red multimodal, se determinan de acuerdo a lo expuesto anteriormente para los modos ferroviario y vial.

Lo mismo, en relación a los costos operacionales asociados directamente al proyecto ferroviario.

Luego, los beneficios anuales por costos de operación del proyecto quedan dados por:

$$B_{CO} = [COT(Base)_{PAX} + COT(Base)_{CARGA}] - [COT(Pr oy)_{PAX} + COT(Pr oy)_{CARGA}] \quad [8-5]$$

8.1.3 *Tamaños de Flota Requeridos*

8.1.3.1 *Reducción de flota de buses y camiones*

Cuando debido a un proyecto ferroviario existe impacto en la partición modal, la transferencia de demanda es siempre desde otros modos al ferrocarril. En el caso de buses y camiones, al transferirse cierta demanda al ferrocarril, en teoría, los flujos de estos vehículos disminuyen en la red (asumiendo que se mantienen sus tasas de ocupación), lo que a su vez implica una reducción de la flota necesaria para satisfacer la demanda. Esta reducción queda recogida adecuadamente por el ítem depreciación (estimado con HDM4 en \$/veh-km) debido a la menor cantidad de veh-km que operarán en la red en la situación con proyecto.

8.1.3.2 *Reducción de flota ferroviaria*

En el caso ferroviario, la situación es diferente a la del punto anterior, ya que es este modo y su infraestructura asociada la que se encuentra sujeta a proyectos de mejoramiento. Cuando un proyecto incluye mejoras en la infraestructura ferroviaria, se pueden percibir beneficios asociados a otros servicios ferroviarios en operación que utilizan dicha infraestructura. En efecto, ya sea un mejoramiento de la vía (en un tramo donde operan trenes en la Situación SP) o la construcción de una nueva conexión (que podría reasignar ruta a otros trenes en operación), se producen reducciones de tiempo de viaje, ya sea por un aumento de la velocidad admisible en el tramo, o por una disminución de la congestión en el tramo de proyecto u otros en la red (debido a reasignaciones).

Las disminuciones de tiempo de viaje reducen los tiempos de rotación de los equipos de los servicios existentes en la Situación SP, lo cual permitiría en la Situación CP realizar el transporte de dichos servicios con un tamaño de parque menor.

En un ciclo de rotación del equipo existen dos tipos de tiempos. El primero, corresponde al tiempo en que el equipo se encuentra en viaje (cargado o vacío), incluidas las demoras asociadas a las maniobras de movilización, al que llamaremos “tiempo de viaje”. El segundo, corresponde al tiempo en que el equipo se encuentra detenido en el origen o destino, en proceso de carga o descarga, o a la espera de ser despachados para iniciar el viaje de ida o de retorno y en maniobras en los terminales: “tiempo en terminales”.

Luego:

$$TR = TV + TT \quad [8-6]$$

Donde:

TR: Tiempo de rotación del equipo

TV: Tiempo de viaje del equipo

TT: Tiempo en terminales del equipo

Los proyectos ferroviarios, materia de este manual, intervienen en la vía y no en los procesos que se desarrollan en los terminales, por lo que sólo pueden modificar el valor del tiempo de viaje (TV). Una reducción del tiempo de viaje, reduce el tiempo de rotación del equipo, aunque en una proporción menor a la reducción del tiempo de viaje.

En el caso de servicios de pasajeros, como son pocos y fáciles de identificar, el cálculo de la reducción de flota requerida puede realizarse individualmente para cada uno de los servicios cuyo tiempo de viaje mejora con el proyecto. El cálculo debe hacerse tanto para la Situación SP como CP, a fin de determinar la diferencia de las flotas. Nótese que, dado que los servicios de pasajeros operan en ciertos horarios (según criterio comercial), la disminución del tiempo de viaje podría no generar ningún ahorro de flota, pues no se alteran los horarios de salida de los trenes. Sin embargo, el mismo parque podría permitir una mayor cantidad de salidas, lo cual implica que el servicio podría atender el crecimiento de la demanda por más tiempo sin necesidad de aumentar la flota. Una vez determinado el parque liberado (locomotoras, coches, automotores), éste se valoriza a partir de precios estándar para los equipos.

En el caso de la carga, la mayor cantidad de servicios que podría haber en la red, hace, en la mayoría de los casos, poco razonable su análisis individual. Por ello, se propone un cálculo simplificado, que se describe a continuación:

A partir de información de los operadores involucrados y de la red de modelación construida, se debe seguir el procedimiento siguiente:

- El parque liberado se expresará como trenes-hora liberados, de acuerdo a:

$$EHL = EH(Base) - EH(Proyecto) \quad [8-7]$$

Donde:

EHL: equipo-hora/año²⁰ liberados

EH(Base): equipo-hora/año en la Situación Base

EH(Proyecto): equipo-hora/año Situación con Proyecto

²⁰ Se refiere a trenes-hora en viaje.

Estos valores se obtienen de la modelación expandiendo los períodos al año, según lo siguiente:

$$EH^t(S) = \sum_p \sum_i FE_{ip}^t(S) * TV_{ip}^t(S) * f_p \quad [8-8]$$

$EH^t(S)$: equipo-hora/año del tipo t (locomotora, carro), en la situación S : SP; Alternativa de Proyecto.

$FE_{ip}^t(S)$: flujo del equipo tipo t en el arco i en el período p , en la situación S : SP; Alternativa de Proyecto, en pasadas/unidad temporal del período p

$TV_{ip}^t(S)$: tiempo de viaje en el arco i del equipo tipo t en el período p , en la situación S : SP; Alternativa de Proyecto, en horas

f_p : factor de expansión del período p , en unidad temporal del período p /año

Para valorar los equipos-hora liberados se propone proceder de la siguiente manera:

- Establecer las siguientes variables asociadas al tren promedio (usar valores estándar si no se dispone de otra información):

P_{loc} : precio locomotora

P_{carros} : precio carros

N_{loc} : número medio de locomotoras del tren promedio

N_{carros} : número medio de carros en el tren promedio

VU_{loc} : vida útil locomotora (años)

VU_{carros} : vida útil carros (años)

Entonces el costo por año de locomotoras del tren promedio (CA_{loc}) y el costo por año de los carros del tren promedio (CA_{carros}), quedará dado por:

$$CA_{loc} = \frac{P_{loc} * N_{loc}}{VU_{loc}} \quad [8-9]$$

$$CA_{carros} = \frac{P_{carros} * N_{carros}}{VU_{carros}} \quad [8-10]$$

Luego, el costo promedio por hora de locomotora (CH_{loc}) y el costo promedio por hora de los carros (CH_{carros}), se determina como:

$$CH_{loc} = \frac{CA_{loc}}{365 \cdot 24} \quad [8-11]$$

$$CH_{carros} = \frac{CA_{carros}}{365 \cdot 24} \quad [8-12]$$

Finalmente, el beneficio por liberación de equipo rodante (\$/año) se obtiene como:

$$BER = \sum_t EHL_t \cdot CH_t \quad [8-13]$$

Con t referido al tipo de equipo.

8.1.4 Costos de mantenimiento de la infraestructura

El método de cálculo del mantenimiento de la infraestructura se encuentra descrito anteriormente. Luego, 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.

$$B_{MI} = [CM(Base)_{FFCC} + CM(Base)_{VIAL}] - [CM(Proy)_{FFCC} + CM(Proy)_{VIAL}] \quad [8-14]$$

Donde:

B_{MI} : beneficio anual por mantenimiento de la infraestructura

CM : costo de mantenimiento anual de la infraestructura

8.1.5 Accidentes

Los beneficios por concepto de accidentes (B_{Acc}) se obtienen por la diferencia de los costos estimados entre la Situación SP ($B_{Acc}(SP)$) y CP ($B_{Acc}(CP)$), cuya estimación se realiza de acuerdo a lo establecido en la sección 7.4.

$$B_{MI} = [CAcc(SP)_{FFCC} + CAcc(SP)_{VIAL}] - [CAcc(CP)_{FFCC} + CAcc(CP)_{VIAL}] \quad [8-15]$$

9 ANALISIS DE RENTABILIDAD

La metodología del análisis costo-beneficio aplica cuando se cumplen varias condiciones que hacen permisible la utilización del equilibrio parcial y la estática comparativa:

1. El proyecto debe ser “pequeño”, en el sentido de que sus efectos más significativos puedan circunscribirse al mercado primario y a unos pocos mercados relacionados con impactos fácilmente identificables y significativos.
2. Existen mercados para los outputs del proyecto, o no existiendo mercados, se disponga de técnicas para valorarlos con ciertas garantías.
3. Las incertidumbres técnicas sean tolerables y los periodos de tiempo en los que hay que evaluar no sean exageradamente prolongados. El optimismo en la predicción de la demanda y la subestimación de los costes son dos características que se repite con frecuencia en los proyectos de transporte. Si la incertidumbre asociada a la demanda de transporte y a los costes de construcción y operación desaconseja trabajar con variables determinísticas, es conveniente estructurar la evaluación utilizando rangos de posible variación aleatoria de estas variables en lugar de valores fijos que pueden dar la falsa sensación de certeza en los resultados finales.

Cuando un proyecto de transporte reduce el precio generalizado y aumenta la cantidad demandada durante la vida útil del mismo, se ha producido un cambio de equilibrio que puede modificar sensiblemente las reducciones de coste inicialmente estimadas. La reducción inicialmente prevista del tiempo en la utilización de la infraestructura como consecuencia de un proyecto, puede ser muy diferente de la que finalmente se produzca dependiendo de cómo reaccione la demanda, y los costes, una vez que se cambia el equilibrio inicial.

La mayoría de los proyectos de transporte implican la reducción del coste de desplazar personas y bienes. El coste del transporte se reduce con inversiones en capacidad o nuevos trazados o instalaciones que permiten aumentar la productividad. En la cuantificación de los ahorros esperados no basta comparar los costes de las dos tecnologías o de los dos niveles de capacidad, hay que predecir cuál será el comportamiento de la demanda y cómo el nuevo equilibrio determina los costes unitarios relevantes para la comparación.

El tiempo que un usuario invierte en utilizar el servicio o la instalación de que se trate, por ejemplo una carretera, viene determinado tanto por la oferta como por la demanda. Para una capacidad determinada, el coste medio puede ser constante o creciente cuando aumenta el número de usuarios. En el equilibrio todos los usuarios invierten el mismo tiempo. Un proyecto que reduce el coste de transporte beneficia a los usuarios existentes en la reducción de dicho coste si la cantidad demandada no aumenta

como consecuencia del ahorro de tiempo. El beneficio final del proyecto depende de cómo la demanda generada al interactuar con la oferta afecta al coste medio de desplazamiento.

A menos que la demanda sea fija, los ahorros de costes para los usuarios existentes no dependen sólo de la inversión (nueva tecnología, ampliación de capacidad, etc.), sino que el comportamiento de la demanda también es fundamental para determinar finalmente el beneficio social del proyecto. Con una demanda perfectamente elástica el beneficio de la ampliación de capacidad es nulo (suponiendo un ajuste automático al equilibrio inicial).

Si la incertidumbre de costes y demanda caracteriza a los proyectos de inversión en transportes, el método de evaluación debe incorporarla. Un proyecto típico de inversión en infraestructuras de transporte conlleva obras que duran varios años y una vida de la infraestructura que supera fácilmente los cincuenta años. Predecir con mínimo error los costes de construcción y mantenimiento de la infraestructura y, sobre todo, predecir con exactitud la demanda y los beneficios esperados durante la vida del proyecto es simplemente imposible. Si la realidad no nos ofrece valores deterministas es preferible evaluar incorporando la incertidumbre desde el comienzo.

En lugar de utilizar variables deterministas, en algunos casos se sugiere la utilización de distribuciones de probabilidad para las variables determinantes de la rentabilidad del proyecto. De esta manera, si bien no obtendremos un valor único para la rentabilidad esperada del proyecto, podremos tener una distribución de probabilidad de los valores actuales netos esperados, dados los valores plausibles de las variables claves del proyecto. Las reglas de decisión apenas varían y el decisor obtiene una información muy valiosa, a bajo coste, sobre el riesgo del proyecto y no sólo sobre su rentabilidad media.

La obtención de un único VAN puede dar una sensación de certidumbre errónea sobre la rentabilidad del proyecto. Un valor positivo para el VAN social esperado puede ser compatible con un conjunto de valores actuales netos negativos. Conocer que estos existen y la probabilidad asociada a su ocurrencia es una información útil para la toma de decisiones.

9.1 Proyección de Beneficios

Para obtener la corriente de beneficios durante todo el horizonte de evaluación del proyecto, se debe proceder interpolando linealmente los beneficios obtenidos en cada uno de los cortes temporales.

Una vez alcanzado el último año del horizonte de evaluación, se obtiene un nivel tal de incertidumbre que no tiene sentido seguir haciendo crecer los beneficios, y se asumen constantes, a partir del último año de evaluación, y el último año de operación del proyecto.

Además, es importante considerar que las proyecciones de beneficios más allá de los cortes temporales modelados (por ejemplo, si se modeló el año 1 y el año 10, de operación del proyecto, con un horizonte de evaluación de 20 años), tienen altos niveles de incertidumbre, y por tanto, también se deberán mantener constante los beneficios desde el último año modelado hasta el último año del horizonte de evaluación.

Sin perjuicio de lo anterior, se debe tener en cuenta que los servicios ferroviarios o las vías poseen capacidades limitadas. Por esto, un caso particular es aquel en que las capacidades de diseño del proyecto son alcanzadas antes del año de horizonte de evaluación, lo cual para poder seguir aumentando la demanda se requieren nuevas inversiones, ya sea en aumento de capacidad de la vía y/o adquisición de nuevo material rodante. En estas circunstancias se debe decidir si realizar nuevas inversiones o bien la demanda sólo puede aumentar hasta la capacidad diseñada del sistema ferroviario y, por ende, a partir del año en que esto ocurra la demanda asociada al proyecto ferroviario se mantiene constante. En este caso, el año en que esto ocurra será el último corte temporal a modelar y, a partir de dicho año, suponer beneficios constantes hasta el final del horizonte de evaluación considerado.

9.2 Cortes Temporales

En los estudios a nivel de perfil se deberán considerar al menos 2 cortes temporales. Los cortes temporales serán en el año 1 de operación del proyecto y el año 10 (o aquel en que se considere realizar nuevas inversiones, por ejemplo, adquisición de nuevo material rodante, ampliación de capacidad, etc.)

En los estudios a nivel de prefactibilidad, se deberán considerar al menos 3 cortes temporales: año 1, año 10 y año 20 (o aquellos en donde se considere realizar nuevas inversiones). La modelación del año 20 debe ser ratificada con especial cuidado, porque los modelos de demanda suelen sobreestimar los beneficios asociados a horas punta en escenarios con congestión. En casos donde los beneficios del año 20 sean excesivamente altos, se tratará la modelación con el debido cuidado, evaluando alternativas de análisis como por ejemplo, ampliar la duración de la hora punta en lugar de aumentar desmedidamente los ahorros de tiempos de viaje en dicha hora.

9.3 Horizonte de evaluación

En general, la vida útil de los proyectos ferroviarios puede superar los 30 años. Sin embargo, se estima que considerar horizontes de evaluación superiores a 20 años presenta complicaciones relativas a la proyección de la demanda y de la infraestructura (tanto vial como ferroviaria) de la red multimodal. Adicionalmente, en ocasiones puede darse que el análisis considere al ferrocarril como una alternativa a un proyecto vial, los cuales suelen evaluarse con un horizonte de 20 años, básicamente porque ese suele ser el período de vida útil de los pavimentos.

Por lo anterior, se propone utilizar como criterio general un horizonte de evaluación de 20 años para los proyectos ferroviarios, considerando que la estimación del valor residual debe reflejar adecuadamente su mayor vida útil. Este enfoque hace necesario tener una buena y realista estimación del valor residual de un proyecto ferroviario, la cual de no hacerse estaría perjudicando la verdadera rentabilidad del proyecto.

La excepción a lo anterior serán aquellos proyectos cuya vida útil está condicionada por la extinción de la demanda transportada. Este será típicamente el caso, por ejemplo, de faenas mineras, las cuales una vez agotada la explotación la vía y equipos no tienen uso alternativo. En este caso, el valor residual del proyecto corresponderá al precio de desguace y el horizonte de evaluación a la vida útil del proyecto productivo.

9.4 Tasa de descuento social

La tasa de descuento social a utilizar será la fijada anualmente por SNI.

9.5 Los Precios Sociales

Para la evaluación socio-económica del proyecto las inversiones deben ser expresadas en precios sociales. Para ello, se debe establecer los factores sociales aplicables a las distintas partidas en que se desglosa la inversión.

Para obtener el monto de las inversiones a precios sociales se aplica a los precios privados los denominados Factores Sociales. Los factores sociales que se utilizan son los que entrega SNI anualmente. En el Cuadro 9-1 se muestran, a modo referencial los correspondientes al período presupuestario 2012.

Cuadro 9-1 Factores Sociales

Concepto	Sigla	2012
Mano de obra calificada	MOC	0,98
Mano de obra semicalificada	MOS	0,68
Mano de obra no calificada	MON	0,62
Materiales nacionales	MN	1,00
Materiales importados	MX	1,01
Impuestos	IMP	0,00

Fuente: www.sni.cl

Debe tenerse en cuenta que estos factores pueden variar y deben actualizarse anualmente de acuerdo con los valores que entregue SNI.

Para la estimación de los costos sociales en cada partida de inversión, los factores señalados se aplican en proporción a la incidencia de cada componente.

Las partidas de obra consideradas para los proyectos ferroviarios son las siguientes:

- Expropiaciones
- Habilitación o reparación de la faja
- Movimiento de tierras
- Obras de arte
- Superestructura de la vía
- Electrificación
- Señalización
- Edificaciones
- Equipos rodantes
- Maquinaria y herramientas
- Ingeniería
- Inspección y puesta en marcha

Las partidas de Expropiaciones, Habilitación o reparación de la faja y Movimiento de Tierras son equivalentes a las correspondientes de los proyectos viales y por lo tanto es conveniente adoptar el mismo criterio. Para estas partidas se debe utilizar los factores de desglose contenidos en la Tabla 9.2.2 del Manual de Diseño y Evaluación Social de Vialidad Urbana, Sectra (1988).

Para las restantes partidas, en el Cuadro 9-2 se presenta el desglose en términos de porcentaje respecto del valor por unidad. Estos porcentajes deben ser aplicados a los valores privados de cada partida, incluido el IVA. Debe tenerse en cuenta que los valores entregados en el cuadro son sólo una referencia, ya que están basados en la desagregación de obras típicas en cantidades también típicas, que varían en cada proyecto. Si en la evaluación de un proyecto a nivel de prefactibilidad se produce una desagregación porcentual de las componentes sociales diferente, los factores sociales del SNI deberán ser aplicados directamente a esta desagregación. En una evaluación de perfil, en cambio, es suficiente utilizar los factores resumen de los grupos (ítems 10, 20, 30, etc.).

En la estimación del valor social de las inversiones en equipo rodante el tratamiento es algo diferente, ya que normalmente se trata de productos importados. Por lo general, las locomotoras y equipos de pasajeros sólo tienen como componente nacional los gastos de internación, impuestos y gastos de puesta en marcha (commissioning). Los carros de carga, en cambio, pueden tener algo de integración nacional, principalmente las carrocerías. El Cuadro 9-3 propone algunos valores para la desagregación que pueden ser utilizados en los estudios de perfil. Para los estudios de prefactibilidad se sugiere revisar el desglose de los costos.

Cuadro 9-2 Desagregación de partidas de inversión en infraestructura (indicativos)

Item	Partida	Unid	MON	MOS	MOC	MN	MX	IMP
10	Terrenos	m²	-	-	-	0,9960	-	0,0040
11	Fajas vía	m ²	-	-	-	0,9960	-	0,0040
12	Estaciones	m ²	-	-	-	0,9960	-	0,0040
13	Talleres	m ²	-	-	-	0,9960	-	0,0040
20	Movimiento de tierras	m³	0,0396	0,0333	0,0476	0,0869	0,4916	0,3010
21	Cortes en roca	m ³	0,1875	0,0281	0,0193	0,1109	0,4506	0,2036
22	Cortes terreno semiduro	m ³	0,0305	0,0374	0,0440	0,0850	0,4834	0,3197
23	Cortes terreno blando	m ³	0,0126	0,0306	0,0550	0,0500	0,5852	0,2666
24	Terraplenes	m ³	0,0069	0,0340	0,0553	0,0916	0,4791	0,3331
30	Obras de arte	ml	0,0808	0,0635	0,0140	0,4360	0,1975	0,2081
31	Alcantarillas	ml	0,0917	0,0646	0,0067	0,4428	0,1884	0,2058
32	Puentes menores	ml	0,0889	0,0465	0,0032	0,4458	0,2017	0,2139
33	Puentes mayores	ml	0,0349	0,1048	0,0589	0,3951	0,2078	0,1985
34	Otras obras de arte	Nº	0,0917	0,0646	0,0067	0,4428	0,1884	0,2058
40	Superestructura vía férrea	mlv	0,0635	0,0448	0,0187	0,1690	0,5197	0,1843
41	Rieles	t	-	0,005	0,0075	-	0,8288	0,1587
42	Desviadores	Nº	-	0,005	0,0075	-	0,8288	0,1587
43	Durmientes de madera	Nº	0,0300	0,1700	0,0050	0,5300	0,0700	0,1950
43a	Durmientes de H.A.	Nº	0,2000	0,0800	0,1000	0,2100	0,2100	0,2000
44	Sujeciones	Nº	0,0050	0,0110	0,0100	0,2640	0,5000	0,2100
45	Balasto	m ³	0,1500	0,0500	0,0035	0,4630	0,1350	0,1985
46	Instalación	mlv	0,3500	0,1000	0,1000	0,0300	0,2000	0,2200
50	Electrificación	km	0,0105	0,0307	0,0621	0,5024	0,2109	0,1835
51	Edificios subestaciones	Nº	0,0500	0,0500	0,1600	0,5800	-	0,1600
52	Equipos subestaciones	Nº	0,0100	0,0200	0,1000	0,2000	0,4600	0,2100
53	Líneas de alta tensión	km	0,0100	0,0300	0,0500	0,5300	0,2000	0,1800
54	Catenarias plena vía	km	0,0100	0,0300	0,0500	0,5300	0,2000	0,1800
55	Catenarias estaciones	MI	0,0100	0,0300	0,0500	0,5800	0,1500	0,1800
56	Estructuras de soporte	Nº	-	0,0500	0,100	0,6500	0,0100	0,1900
57	Líneas auxiliares	km	0,0100	0,0300	0,0500	0,5300	0,2000	0,1800
60	Señalización y comunicaciones	km	0,0085	0,0442	0,1722	0,1000	0,4593	0,2157
61	Señales plena vía	km	-	0,0500	0,2000	0,1000	0,4400	0,2100
62	Señales estaciones	Nº	-	0,0500	0,2500	0,1000	0,3800	0,2200
63	Centro control tráfico	Nº	-	0,0300	0,0500	0,3000	0,4200	0,2000
64	Red de fibra óptica	km	0,0500	0,0300	0,0500	0,0500	0,5800	0,2400
65	Sistema tren a tierra	gl	-	0,0100	0,0500	0,2000	0,5400	0,2000
66	Telefonía directa	km	-	-	0,2000	0,3000	0,2800	0,2200
67	Telefonía automática	Nº	-	-	0,2000	0,3000	0,2800	0,2200

**Cuadro 9-2 Desagregación de partidas de inversión en infraestructura (indicativos)
(continuación)**

Item	Partida	Unid	MON	MOS	MOC	MN	MX	IMP
70	Edificaciones	m²	0,0098	0,0080	0,0124	0,5696	0,1853	0,2149
71	Edificios	m²	0,0010	0,0100	0,0155	0,5335	0,2200	0,2200
72	Pavimentos	m²	0,0018	0,0080	0,0049	0,5283	0,2191	0,2379
73	Instalaciones	gl	0,0400	0,0015	0,0030	0,6955	0,0650	0,1950
80	Ingeniería	gl	0.0003	0.0007	0.3990	0.0667	0.3700	0.1633
81	Ingeniería nacional	gl	0,0005	0,0010	0,5985	0,1000	0,1800	0,1200
82	Ingeniería extranjera	gl	-	-	-	-	0,7500	0,2500
90	Inspección y recepción obras	gl	-	0,1000	0,4800	0,1000	0,2000	0,1200

Fuente: Elaboración Propia
mlv: metros lineales de vía

Cuadro 9-3 Desagregación de partidas de inversión en equipos rodantes (indicativos)

Item	Partida	Unid	MON	MOS	MOC	MN	MX	IMP
100	Locomotoras	Nº	-	-	0,0100	-	0,7400	0,2500
200	Equipos de pasajeros	Nº	-	-	0,0200	-	0,7300	0,2500
300	Carros de carga¹	Nº	0,0030	0,0150	0,0370	0,1830	0,5330	0,2290

Fuente: Elaboración Propia
(1) Bastidor y carrocería integrados localmente

De esta manera, el valor social de las inversiones se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CIS = \sum_p \sum_i CIP_p (PCS_{ip} * f_i) \quad [9-1]$$

Donde:

CIS: Costo de inversión a precios sociales

CIP_p: Costo de inversión a precios privados (c/IVA) de la partida p

PCS_i: Porcentaje de la componente social i de la partida p

f_{ip}: Factor de la componente social i

algunos estudios han indicado la existencia de sesgo histórico y sistemático a la subestimación de costes y la sobrestimación de demanda en transporte. En un estudio realizado por Flyvbjerg, Skamris y Buhl, (2003), consistente en comparar los costes presupuestados y los reales en 258 grandes proyectos de infraestructura (ferrocarril, puentes, túneles y carreteras) en veinte países diferentes durante setenta años, concluyeron que 9 de cada 10 proyectos presentaban costes mayores que los presupuestados (desviación media: +28%). En el caso de los ferrocarriles (desviación media: +45%); en túneles y puentes (desviación media: +34%); y para las carreteras (desviación media: +20%). Estas desviaciones se mantienen los últimos setenta años, lo que quiere decir que no se “aprende” con el paso del tiempo.

Igual ocurre con la demanda. Skamris y Flyvbjerg (1997) analizan 41 proyectos para detectar las desviaciones en los costes y la demanda. Su estudio incluye grandes proyectos de infraestructura y datos propios para Dinamarca. Los resultados muestran un sesgo no aleatorio en favor de los proyectos al producirse una desviación entre predicción y realidad que tiende sistemáticamente a predecir niveles de demanda muy superiores a los que después se materializan y a estimar costes muy inferiores a los que se incurre con posterioridad.

Las desviaciones sistemáticas elevan la rentabilidad ex ante de los proyectos, lo que lógicamente favorece la construcción de obras que no son socialmente rentables. La infraestructura innecesaria o inadecuada suele ser desproporcionada con relación a la necesidad que pretende resolver, es muy costosa y generalmente irreversible. Evitar este tipo de obra no es demasiado sencillo a menos que se modifiquen los incentivos actuales.

Mientras decisión y financiación estén separadas y no exista responsabilidad real sobre la mala asignación de los fondos públicos, es difícil evitar que se acometan proyectos que benefician a sus promotores a un coste excesivo para el conjunto de la economía.

9.6 Valor residual de las inversiones

Normalmente los proyectos ferroviarios involucran inversiones tanto de infraestructura como de material rodante, cuya vida útil excede de manera considerable los horizontes de evaluación. En la práctica, la parte mayoritaria de las inversiones en proyectos nuevos está en la infraestructura, compuesta básicamente por movimientos de tierras, obras de arte (puentes, túneles, alcantarillas), vía férrea, edificaciones, instalaciones de electrificación, instalaciones de señalización y comunicaciones, y otros.

De los conceptos anteriores, los movimientos de tierras tienen prácticamente una vida útil indefinida, como lo muestra el que la mayor parte de los actuales trazados ferroviarios son, con modificaciones irrelevantes, los mismos construidos en el Siglo XIX.

Algo similar sucede con las obras de arte. El diseño y posterior mantenimiento de estas estructuras asegura su duración por largos períodos y sólo son reemplazados o modificados por obsolescencia, cuando hay mejoramiento de los estándares técnicos.

En el caso de la vía férrea y salvo los mejoramientos de estándares, sucede lo mismo: el mantenimiento de la vía incluye el reemplazo de sus componentes (rieles, durmientes, sujeciones, balasto) en forma periódica y en la medida de su deterioro, con lo que se asegura una duración indefinida.

Lo mismo sucede, aunque en menor escala, con las instalaciones de electrificación y señalización.

En lo que se refiere al material rodante, la naturaleza de los equipos ferroviarios asegura una larga duración. Las locomotoras diesel y eléctricas de los ferrocarriles chilenos tienen entre 40 y 50 años de antigüedad y aparentemente seguirán prestando servicio por muchos años más, pese a su obsolescencia. Asimismo, la práctica de adquirir material rodante usado y reacondicionado demuestra la larga vida útil de estos equipos, que ya cumplieron un ciclo de vida.

Por lo anterior, en la mayoría de los proyectos, al final del período de evaluación puede haber un valor residual de considerable importancia, que es necesario avaluar cuidadosamente, por tener una influencia significativa en el VAN, especialmente cuando las tasas de actualización son bajas.

Sin perjuicio de lo anterior, hay proyectos ferroviarios que por su naturaleza no continúan más allá del período de evaluación. El caso más claro es el de las explotaciones mineras, en las que las existencias de mineral permiten una explotación por un período limitado –normalmente 20 años– al término del cual la evaluación deberá suponer forzosamente que el proyecto termina y sus instalaciones serán desguazadas.

Un caso similar puede darse en proyectos cuyas inversiones sólo consisten en la adquisición de equipo rodante, especialmente cuando este equipo es usado y tiene por lo tanto una vida útil limitada, al cabo de la cual la única alternativa es el desguace.

En todo caso, la estimación del valor residual de las inversiones debe efectuarse con criterios conservadores, por tratarse de sucesos que ocurrirán al final del período de evaluación, cuando es más difícil prever las condiciones ya sea para postular un nuevo período o simplemente para desguazar las instalaciones y equipos.

En resumen, en el tratamiento del valor residual de las inversiones puede distinguirse los dos casos que se tratan a continuación.

9.6.1 Proyectos que continúan en condiciones similares después del período de evaluación.

Para el cálculo del valor residual de los proyectos correspondiente a este sector, se utilizará la siguiente expresión, que corresponde a la vida útil económica remanente de la inversión, más allá del horizonte de evaluación.

De acuerdo con lo anterior, el valor residual estará dado por la expresión:

$$VR = \sum_i I_o^i * \left[\frac{VU^i - HE}{VU^i} \right]$$

Donde:

VR: Valor residual a agregar a los beneficios en el último año del horizonte de evaluación del proyecto.

VUⁱ: Es la vida útil, en años, del componente *i* de la inversión inicial.

I₀ⁱ: Es la inversión inicial asociada al componente *i* de la inversión inicial, a precios sociales.

HE: Es el horizonte de evaluación de análisis considerado para el proyecto.

Especial importancia debe darse al problema de la obsolescencia, ya que en un período de 20 años hay componentes de infraestructura y equipos cuya tecnología quedará obsoleta y que, aunque estén en condiciones de seguir prestando servicios, será necesario reemplazar por otros de mayores estándares. Es el caso de los equipos de comunicaciones, de control de tráfico, de seguridad, automatismos y otros. Si bien en algunos casos es difícil prever la evolución técnica de estos equipos, es conveniente adoptar criterios conservadores respecto de la vida útil de los equipos e instalaciones que han experimentado cambios tecnológicos en los últimos años. Estos criterios serán producto de la experiencia del proyectista.

En principio, las inversiones en infraestructura no deben incluir otros conceptos que los derivados del término de vida útil y de la obsolescencia prevista, ya que los restantes elementos deberían quedar al final del período de evaluación en condiciones de seguir prestando servicio sin otras intervenciones que las del mantenimiento normal. En el caso de los movimientos de tierras y de las obras de arte, esto es evidente. En el caso de la superestructura de la vía férrea, como ya se ha dicho, debe tenerse en cuenta que el mantenimiento normal incluye la renovación permanente de sus elementos y por lo tanto no debería requerir inversiones. Lo mismo sucede con las instalaciones de electrificación y señalización.

En las inversiones en equipo rodante debe distinguirse dos casos diferentes. Por una parte está la circunstancia de que la mayoría de las veces los proyectos consideran la adquisición de equipo rodante adicional durante su desarrollo, para atender una demanda creciente. Esto lleva a que en el término del proyecto se dispondrá de una parte significativa del parque de equipo rodante con vida útil residual. Esta vida útil residual debe considerarse adecuadamente en las inversiones residuales.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que el mantenimiento normal de los equipos rodantes no considera cambios tecnológicos o de calidad del servicio que ellos prestan. Estos aspectos se abordan habitualmente mediante la modernización de los equipos, especialmente importante en los servicios de pasajeros y las inversiones del final del período deberían incluirlos. Al igual que en otros casos, el criterio de estimación de estas inversiones será producto de la experiencia del proyectista.

Una vez estimadas las inversiones residuales, para la determinación de los valores residuales a precios sociales, los montos de estas inversiones residuales se tratarán de la misma manera que las inversiones iniciales.

9.6.2 *Proyectos que terminan en el período de evaluación*

Algunos proyectos no continúan más allá del período de evaluación, debido a sus características especiales. Se ha mencionado el caso de los proyectos mineros, pero también hay otros casos en que desde la partida se postula que el proyecto terminará en el período de evaluación, como por ejemplo ramales forestales, acceso a instalaciones provisionales y otros.

En estos casos, el valor de los activos iniciales se debe considerar a precios de desguace en el último año de la evaluación, o su costo de oportunidad de un nuevo y diferente proyecto que utilice total o parcialmente los activos residuales.

En el caso de los proyectos mineros, suele presentarse la prolongación de la vida útil de la mina más allá del período de evaluación, por la explotación de minerales de menor ley. En estos casos estos proyectos podrían asimilarse a los proyectos descritos anteriormente, haciendo una estimación de la tasa de disminución de los beneficios en el período siguiente. Sin embargo, la factibilidad de la explotación de minerales de menor ley depende de condiciones de mercado y de la aparición de nuevas tecnología de explotación, que es difícil estimar con 20 años de anticipación, si este fuera su período de vigencia. Por estas razones, es recomendable considerar la extinción del proyecto en el último año del horizonte de evaluación y establecer el VR a precio de desguace en todos los casos. Este es el criterio utilizado normalmente por las empresas mineras.

9.7 Indicadores de Rentabilidad

Para determinar la rentabilidad de un proyecto se utilizan diversos indicadores, los que se calculan a partir de la comparación de los costos con los beneficios del proyecto.

9.7.1 Tasa de rentabilidad inmediata (TRI)

Este indicador permite determinar el año óptimo para ejecutar la inversión. En algunos proyectos, aún cuando presenten un VAN positivo, puede ser preferible postergar su ejecución. Esto ocurre principalmente cuando los beneficios son crecientes en el tiempo.

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

$$TRI = \frac{B_1}{I_0} \quad [9-2]$$

Donde:

- I_0 : Corresponde a la inversión actualizada al año anterior al primero de funcionamiento del proyecto
- B_1 : Corresponde a los beneficios en el primer año de funcionamiento.
- Si TRI es menor que la tasa de descuento “ r ”, el proyecto debe postergarse.
 - Si TRI es mayor que la tasa de descuento “ r ”, el proyecto debe ejecutarse.

La tasa de retorno inmediato mide el retorno en relación a la inversión que entregan los beneficios obtenidos el primer año; por lo tanto, dado que la tasa de descuento refleja el costo alternativo de los recursos destinados a la ejecución del proyecto, si la TRI es menor conviene postergar un año, e invertir los recursos a la rentabilidad dada por “ r ”. Para decidir si se invierte al año siguiente, debe realizarse la misma comparación, pero con BN_2 , y así sucesivamente hasta el año en que TRI sea mayor que “ r ”, periodo que se denomina “año óptimo de inversión”.

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

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

$$(r^*)^* I_0 = B_t - \frac{B_{t+n+1}}{(1+r^*)^n} \quad [9-4]$$

Donde:

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

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

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

n es la vida útil del proyecto;

r^* es la tasa social de descuento;

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

En proyectos con vida finita y reinversión (el proyecto contempla reinvertir al final de la vida útil con el fin de mantener el nivel de servicio) el momento óptimo de inversión en el proyecto debe estimarse de la siguiente manera:

$$\frac{I_0 * (1 + r^*)^n * r^*}{(1 + r^*)^n - 1} = B_t \quad [9-3]$$

Donde:

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

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

n es la vida útil del proyecto;

r^* es la tasa social de descuento;

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

9.7.2 Valor Actualizado Neto (VAN)

Corresponde a la suma de los valores actualizados de los flujos netos esperados del proyecto (sumando el valor residual de las inversiones en el último año del horizonte de evaluación), deducido el valor de las inversiones.

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{(-I_i + B_i + VR_i)}{(1+r)^i} \quad [9-6]$$

Donde:

I_0 : Corresponde a la inversión inicial del proyecto que se realiza en el año 0.

I_i : Corresponde a la inversión en el año i

B_i : Corresponde a los beneficios netos en el año i

VR_i : Corresponde al valor residual en el año i . Si $i < n$, se asocia exclusivamente a material rodante que se reemplaza durante el horizonte de evaluación. Si $i = n$, corresponde al valor residual al último año de las inversiones realizadas.

n : Horizonte de evaluación (años)

r : Tasa de descuento social

Si el VAN de un proyecto es positivo, significa que el proyecto es rentable. Al comparar proyectos el más rentable es aquel que obtiene mayor VAN. La ventaja de este método es que permite llevar los flujos a mismo momento de tiempo, típicamente al año 0. Además, es posible considerar flujos positivos y negativos sin distorsionar el resultado, como puede suceder con la TIR.

9.7.3 Tasa interna de retorno (TIR)

Corresponde a aquel valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero.

$$VAN = 0 = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{(-I_i + B_i + VR_i)}{(1+TIR)^i} \quad [9-7]$$

Cuando el valor de la TIR es mayor que la tasa de descuento social el proyecto es rentable. Sin embargo, debe tomarse precauciones cuando los flujos del proyecto cambian de signo a lo largo del horizonte de evaluación, ya que existe la posibilidad de obtener más de una solución para el valor de la TIR. En tal caso, la TIR debe desestimarse como criterio de rentabilidad.

9.7.4 Relación Beneficio - Costo (B/C)

Corresponde al cociente entre los beneficios y costos del proyecto, considerando los valores actualizados tanto de los beneficios como de los costos del proyecto. Valores mayores o iguales a 1 indicarán que el proyecto es rentable, en tanto valores menores a 1

indicarán que el proyecto no es rentable. Este indicador genera una medida de beneficio por unidad de costo.

9.7.5 Indicador IVAN

Entrega una medida de los beneficios por unidad de inversión y corresponde al cociente entre el VAN y la inversión del proyecto. Permite comparar para distintos proyectos, qué valor se genera por cada unidad invertida en cada uno.

9.8 Análisis de Sensibilidad

9.8.1 Tipos de Evaluación

Como primer análisis de sensibilidad del proyecto, se podrá determinar la rentabilidad social considerando los siguientes casos:

- Evaluación Tradicional: Se contabilizarán como beneficios sólo aquellos asociados a los consumos de recursos tradicionales, es decir: tiempo, combustible, costos de operación, mantenimiento de la infraestructura y accidentes de tránsito.
- Externalidades: Las externalidades ambientales del proyecto serán tratadas de acuerdo a lo que se especifica en el capítulo siguiente.

9.8.2 Sensibilización según estimación de costos y beneficios

Tanto para el caso de la evaluación tradicional como la ampliada, se deberán realizar análisis de sensibilidad de la rentabilidad del proyecto en relación con la estimación de los costos y beneficios del proyecto. Se deberá sensibilizar los resultados de rentabilidad al menos en relación a las siguientes variables:

Cuadro 9-4 Variables Análisis de Sensibilidad

Variable	Perfil	Prefactibilidad
Inversión	± 30%	± 20%
Costo Expropiaciones	± 30%	± 20%
Valor Residual	± 30%	± 20%
Beneficios por tiempo de viaje	± 30%	± 20%
Beneficios por Costos de Operación	± 30%	± 20%
Beneficios por mantenimiento de la infraestructura	± 30%	± 20%

Fuente: Elaboración Propia.

10 EXTERNALIDADES

Existen evidencias de que, en términos generales, el modo ferroviario ofrece ventajas frente a los modos alternativos en lo relativo a determinadas externalidades. Entre las externalidades típicamente reconocidas en los sistemas de transportes se encuentran:

- Efectos sobre congestión
- Efectos sobre accidentes
- Efectos sobre contaminación del aire
- Efectos sobre ruido
- Efectos sobre cambio climático
- Efectos sobre naturaleza y paisaje
- Efectos sobre contaminación del agua y suelo
- Efectos externos en áreas sensibles
- Efectos sobre costos de procesos “up/downstream”
- Efectos sobre costos adicionales en áreas urbanas
- Efectos sobre costos de dependencia energética

La existencia de externalidades puede distorsionar la toma de decisiones de inversión en infraestructura de transporte, en la medida que determinados costos externos al sistema no sean incorporados. Es por este motivo que la presente metodología contempla una sección de análisis de externalidades, sugiriendo tratamientos para distintas situaciones, acordes con el estado de la práctica al momento de elaboración de este documento. Dicha recomendación aborda sólo un subconjunto de las externalidades reconocidas:

- Los costos de congestión percibidos por cada usuario y aquellos inducidos en el resto se encuentran bien reflejados en los otros análisis descritos en esta metodología.
- En otros, se ha determinado que se trata de impactos muy reducidos.
- También existen casos en que, si bien se reconoce la existencia e importancia del costo externo, no existe en la actualidad metodologías aceptadas y adaptadas a la realidad nacional que permitan determinar el nivel de producción físico de la externalidad ni su valor monetario.

Dados los problemas para la valoración económica de las externalidades, se contempla también una proposición de incorporar, cuando se estime necesario por los organismos responsables de la evaluación de proyectos, lo que se denomina Análisis Multicriterio, a través de una **Tabla de Impactos**, en la cual se incorporan en la evaluación de

alternativas, de una manera clara y ordenada, el conjunto de impactos que cada una genera.

El formulador deberá ser especialmente cuidadoso en la aplicación de este método y otros que pudieran desarrollarse, sobre todo en aquellos casos en que la alternativa ferroviaria presenta ventajas en este tipo de ítems.

10.1 Propuesta de consideración de costos externos

La recomendación del presente manual en lo relativo al tratamiento de los distintos tipos de externalidades se resume en el Cuadro N°10.1.

Cuadro 10-1 Proposición para el tratamiento de costos externos

Externalidad	Tratamiento propuesto
Costos de accidentes	No requiere tratamiento adicional, está tratado como complemento a la evaluación por recursos.
Cambio climático	Hacer estimación de unidades físicas emitidas de los principales contaminantes, de acuerdo a las mejores metodologías internacionales disponibles, e incorporar a Tabla de Impactos.
Costos por naturaleza y paisaje	Ante a) la falta de metodologías aceptadas para estimación de este ítem y su valoración; y, b) el supuesto que el diseño del proyecto considera la mitigación de los eventuales impactos por daños a los hábitats, se recomienda considerar este ítem en la Tabla de Impactos sólo en la medida que haya diferencias importantes entre alternativas.
Costos externos en áreas sensibles	Incorporar la mayor sensibilidad de dichas áreas en el análisis de la externalidad correspondiente.
Costos de dependencia energética	Se recomienda que la metodología de evaluación haga explícito el consumo energético en unidades físicas asociado a los ahorros de cada alternativa de proyecto a través de la Tabla de Impactos.

Fuente: Elaboración propia

En los puntos siguientes se ahonda en la definición de cada tipo de costo externo, así como en la proposición de tratamiento.

10.1.1 Costos de accidentes

Los costos asociados a los accidentes de tránsito son aquellos relativos a daños materiales, costos administrativos, costos médicos, pérdida de producción y costos subjetivos asociados al dolor, pena y sufrimiento de las víctimas y sus cercanos, denominados “costo humano”.

La mayor parte de dichos costos se encuentran recogidos en los valores unitarios presentados anteriormente. Sin embargo, los valores asociados al costo humano no se encuentran recogidos allí. Ante la ausencia de metodologías validadas para su valoración, el tratamiento sugerido en este manual contempla rescatar la cantidad de personas lesionadas y fallecidas (de acuerdo a la metodología presentada) e incorporarlos a la Tabla de Impactos.

10.1.2 Cambio climático

Los costos asociados al cambio climático son en general difíciles de estimar, pues producen efectos globales y de largo plazo cuya predicción es aún difícil. Estos costos están asociados a los efectos de la emisión de gases invernadero (CO₂, N₂O y CH₄) y se relacionan con aumento del nivel del mar, uso de la energía e impactos en la agricultura.

Sin embargo, el cambio en la emisión de gases de efecto invernadero debido a la ejecución de un proyecto ferroviario puede estimarse en base al consumo de combustible de las situaciones sin y con proyecto, utilizando coeficientes de emisión de gases invernadero como, por ejemplo, los citados en el documento “Greenhouse Gas Inventory Report 2009” de la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos.

En el instructivo de precios sociales vigentes publicado cada año por el Ministerio de Desarrollo Social se puede encontrar un precio social correspondiente al beneficio por reducir en una tonelada las emisiones de carbono.

Adicionalmente, en el documento “Estimación Precio Social del Carbono”, publicado por el mismo ministerio, se puede ver un ejemplo de aplicación del cálculo de estos beneficios en un proyecto de transporte ferroviario.

10.1.3 Costos por naturaleza y paisaje

En términos conceptuales, esta externalidad se refiere a tres tipos de impactos negativos: pérdida de hábitat, fragmentación del hábitat y pérdida de calidad del hábitat. Si bien no existe una metodología para incorporar ninguno de dichos elementos de manera cuantitativa, se sugiere que, en aquellos casos en que a juicio del evaluador haya importantes diferencias entre las alternativas, se explicita esta situación en la Tabla de Impactos.

Sin perjuicio de ello, en el caso de que la alternativa ferroviaria en evaluación sea la que genera los impactos negativos, se debe considerar en el diseño del proyecto la mitigación de dichos impactos.

10.1.4 Costos externos en áreas sensibles

Este tipo de externalidad se da en áreas geográficas sensibles en las que, o bien los daños ambientales son mayores por mayor fragilidad del medioambiente, o bien las emisiones/consumos son más intensos (por ejemplo, en condiciones de montaña).

Si bien no se encuentran disponibles metodologías que puedan dar cuenta cuantitativamente de este efecto, se sugiere incluir una apreciación al respecto en la Tabla de Impactos.

10.1.5 Costos de dependencia energética

Se reconoce en la literatura la alta dependencia de los países productores de petróleo como un costo externo. La externalidad se produce en el sentido de que los precios de mercado del petróleo no necesariamente representan adecuadamente su costo.

Se recomienda que la metodología de evaluación haga explícito el consumo energético en unidades físicas asociado a los ahorros de cada alternativa de proyecto a través de la Tabla de Impactos. Estos consumos, tal como se ha descrito, se obtienen el análisis operacional de las alternativas de proyecto.

Los proyectos justificados por los efectos indirectos que producen tienden a ser malos proyectos ex post. La regla más habitual con respecto a los efectos indirectos es ignorarlos, ya que la medición de los beneficios en el mercado primario afectado por el proyecto es suficiente para capturar los cambios de bienestar producidos. Esta regla general se basa en un supuesto fuerte: el resto de la economía opera en mercados competitivos en cuyo equilibrio la disposición a pagar marginal es igual al coste de oportunidad del bien. Cuando existen distorsiones (externalidades, impuestos o poder de mercado, por ejemplo) esta igualdad no se cumple y los efectos indirectos sí deberían contabilizarse.

La no contabilización de los efectos indirectos no tiene necesariamente por qué perjudicar al proyecto. El resultado neto depende de los mercados secundarios afectados por su relación con el proyecto, de la magnitud del efecto, del signo del impacto (complementariedad o sustituibilidad) y del signo de la distorsión.

En mercados competitivos, sin cambio de precios, los efectos indirectos no deben incluirse ya que, generalmente, el efecto de un aumento o disminución de la demanda en los mismos, por la complementariedad o sustituibilidad del bien o servicio analizado en el mercado primario, supone un ajuste marginal en dichos mercados, que absorberá el aumento de demanda con un aumento de recursos igual al aumento de ingresos, sin que se produzca cambio alguno en el excedente social.

Uno de los resultados más conocidos, en la evaluación de proyectos de inversión en infraestructuras de transporte es que, si los efectos derivados de la mejora de los servicios de transporte, repercuten en mercados competitivos que utilizan dichos servicios como un input, podemos concentrar el esfuerzo de evaluación en el mercado primario de transporte afectado por el cambio, ignorando lo que ocurre en los mercados que utilizan dichos servicios.

Suponiendo que se dispone de información en ambos mercados, puede medirse el efecto en el mercado primario, o alternativamente en el secundario, pero no sumar ambos (error por doble contabilización). En la práctica, es más sencillo medir el efecto en el mercado primario, ya que son varios

los mercados secundarios que utilizan el transporte. Mercados para los que, generalmente, es más complicado y costoso obtener la información necesaria.

Un resultado muy interesante y útil en la evaluación de proyectos de inversión que reducen el coste de transporte consiste en que podemos concentrar nuestra atención en el mercado en el que se produce dicha reducción del coste de transporte y medir en este mercado el beneficio del proyecto, sin tener que preocuparnos de los cambios que se producen en los otros mercados (siempre que éstos sean competitivos), que utilizan el servicio de transporte y en los que cambiará la cantidad de equilibrio como consecuencia del proyecto de inversión causante de la reducción del coste.

10.2 Tabla de Impactos

Las metodologías de evaluación social de proyectos se han concentrado fundamentalmente en los procesos que cuantifican los beneficios y los costos, estimados como diferencia en el consumo de recursos entre situaciones sin y con proyecto, expresados en cifras económicas. El ranking y selección entre alternativas de proyectos se hace a través de indicadores únicos, siendo los típicamente utilizados el VAN, la TIR o el IVAN.

Es usual, sin embargo, que muchos objetivos específicos de distinta naturaleza, ya sea de nivel nacional, regional o local, no queden reflejados en los indicadores económicos cuantificables, lo cual genera con frecuencia una distorsión y un distanciamiento entre la toma de decisiones que realizan las autoridades políticas y los resultados que entregan los indicadores económicos. Lo mismo es cierto para algunos costos externos.

Para abordar aquello, en esta metodología de evaluación se recomienda la construcción de una **Tabla de Impactos** que considere una agrupación en factores que responden a objetivos específicos, los cuales deberán ser adoptados caso a caso, en función de las características del problema a resolver y de las alternativas en comparación:

- a) Factores económicos. Entregan los resultados económicos de la evaluación social y privada de las alternativas, además del análisis de sensibilidad
- b) Factores ambientales. Entregan los resultados de impactos ambientales de cada alternativa, principalmente emisiones y ruido
- c) Factores de seguridad. Entregan indicadores de seguridad no incluidos en la evaluación económica
- d) Factores tecnológicos. Considera la comparación de las alternativas en términos de su grado de cumplimiento de estándares tecnológicos y riesgo tecnológico
- e) Análisis de grupos. Considera efectos positivos o negativos de cada alternativa sobre actores del sistema de transporte y grupos sociales específicos de interés. En la medida que se puedan estimar efectos de manera cuantitativa se recomienda hacerlo, en caso contrario aplicar métodos cualitativos.
- f) Otros factores. Considera otros objetivos de políticas nacionales, sectoriales o locales no consideradas en la evaluación económica ni en las anteriores. Se busca la

consistencia entre las decisiones de inversión y las políticas explícitas por las autoridades en sus diferentes niveles.

La consideración de análisis multi-criterio a través de una Tabla de Impactos como la propuesta en el Cuadro N°10.2 se transforma, no sólo en el instrumento para considerar impactos no incluidos en la evaluación económica de las alternativas de proyecto, sino también en un instrumento de chequeo de la calidad y completitud con que un proyecto específico fue analizado. Por esta razón el tipo y cantidad de factores a introducir en esta Tabla debe ser resuelta caso a caso en las primeras etapas del estudio.

La información presentada en la tabla, aunque no necesariamente sea incorporada en el indicador de rentabilidad correspondiente, puede resultar de suma utilidad en relación a la toma de decisiones.

Cuadro 10-2 Proposición de Tabla de Impactos

Factores	Indicador
Económicos	
VAN Social	M\$
TIR Social	% anual
Sensibilización	
Inversión +30%	
VAN Social	M\$
TIR Social	% anual
VAN Privado	M\$
TIR Privado	% anual
Cambio Climático	
CO2	Ton/año
NOx	Ton/año
Seguridad	
Indicador Seguridad A	Nº muertes evitadas/año
Indicador Seguridad B	Nº lesionados evitados/año
Tecnológicos	
Cumplimiento estándares	A, M, B
Riesgo tecnológico	A, M, B
Impacto en grupos afectados	
Operadores	A, M, B, N
Conductores	A, M, B, N
Usuarios de transporte	A, M, B, N
No usuarios de transporte	A, M, B, N
Otros factores	
Dependencia Energética	
Diesel	M lt/año
Gasolina	M lt/año
Consistencia política	
Nacional Específica 1	A, M, B
Nacional Específica 2	A, M, B
Sectorial Específica 1	A, M, B
Sectorial Específica 2	A, M, B
Regional o Local	A, M, B
Específica 1	A, M, B
Regional o Local	A, M, B
Específica 2	A, M, B

A: alto, M: medio, B: bajo, N: nulo.

11 EVALUACIÓN PRIVADA

Resulta de suma importancia en la evaluación de proyectos ferroviarios, la realización de un análisis financiero privado que permita establecer la factibilidad económica para su implementación. A diferencia de lo que sucede con el transporte vial, en que la infraestructura está completamente separada de los vehículos que la utilizan, las vías y equipos ferroviarios son propiedad y son administradas por empresas públicas y privadas. En algunos casos, especialmente en las empresas que no dan servicio público, la infraestructura y los equipos son propiedad de un solo operador, para el cual es indispensable conocer la rentabilidad privada de su sistema.

En otros casos y especialmente en los ferrocarriles de servicio público, las tarifas de transporte deberían cubrir los costos de mantenimiento de la infraestructura y los costos operacionales de los servicios cuando ambos conceptos están controlados por el operador, o deberían cubrir dichos costos operacionales y los pagos por peajes a los dueños de la infraestructura. Si esto no sucediera y por lo tanto el proyecto en análisis no resultara privadamente rentable pero sí socialmente rentable, la evaluación privada permitiría establecer los eventuales aportes del Estado (a la inversión o a la operación) necesarios para su materialización, si es que la autoridad establece un interés público para su ejecución.

Nótese que en caso de proyectos ferroviarios privados, la posibilidad de contar o no con aportes estatales puede condicionar los resultados de la evaluación. Si a un proyecto se le exige cubrir sus costos de inversión, operación y mantenimiento, esto debe ser cubierto con los ingresos que se espera percibir durante su vida útil. Ello podría elevar fuertemente las tarifas de transporte para el ferrocarril, al punto de no ser competitivo con otros medios de transporte (bus, camión típicamente). Aunque a tarifas competitivas el proyecto podría ser rentable socialmente y, por ende, de interés público, éste podría no materializarse.

En el caso de los proyectos de servicios de transporte de carga, el proyecto ferroviario se diseña a la medida de la demanda (muchas veces en conjunto con el proyecto productivo que genera dicha demanda), aspirando a transportarla en su totalidad. Sin embargo, dicha carga en la práctica sólo podrá ser transportada por el ferrocarril si las tarifas resultantes son competitivas con otras alternativas de transporte.

En el caso del transporte de pasajeros, tarifas muy altas (por sobre otros modos de transporte disponibles) podrían derivar en demandas bajas, con lo cual el proyecto no sería factible o bien generaría permanentemente un déficit financiero.

De acuerdo con lo anterior, tanto para los proyectos ferroviarios que consideran sólo infraestructura, servicios de transporte o ambos, se deberá realizar un análisis financiero privado. En este análisis resulta muy relevante la determinación de las tarifas de transporte (y/o peajes por uso de infraestructura) tales que maximicen la rentabilidad

social del proyecto o bien que generen un adecuado equilibrio entre la rentabilidad social y los requerimientos financieros mínimos requeridos para que sea factible su implementación.

Como parte del desarrollo del proyecto para análisis y evaluación social, se habrán determinado la totalidad de sus costos privados (inversión, operación y mantenimiento), a partir de los cuales se puede realizar el análisis financiero privado. En este caso, los ingresos (beneficios del proyecto) se obtienen a partir de las demandas transportadas y las tarifas cobradas.

Actualmente, los proyectos ferroviarios de pasajeros suelen ser propuestos por el sector público y operados por empresas públicas (EFE, Merval). Sin embargo, también existe la posibilidad de iniciativas privadas o iniciativas públicas que se interesen en operar a través de concesiones privadas. En este sentido, la tarifa a cobrar toma un papel preponderante en la evaluación del proyecto, por cuanto los niveles de demanda del proyecto dependen fuertemente de ella y, por ende, también los beneficios sociales que el proyecto genera. Por otra parte, desde el punto de vista privado los ingresos del servicio provienen del cobro de la tarifa y estos deben ser suficientes para cubrir los costos de inversión y operación del proyecto.

Como parte del análisis del proyecto se habrá realizado una evaluación social del mismo, para lo cual se debió haber definido las tarifas a cobrar por el servicio, aspecto base para la determinación de la demanda. Si el proyecto resulta rentable socialmente con los parámetros de diseño y tarifas definidas, resulta necesario realizar el análisis privado a fin de establecer la factibilidad financiera del proyecto, o en su defecto, establecer los montos de subsidio estatal que el proyecto requeriría para su implementación.

11.1 Proyectos Ferroviarios de Pasajeros

En el caso de los proyectos de pasajeros, el establecimiento de la tarifa a cobrar por el pasaje representa un aspecto determinante en los resultados de la evaluación del proyecto. En esto, es importante establecer los objetivos perseguidos: maximizar la rentabilidad social del proyecto, maximizar la rentabilidad privada sujeta a que el proyecto sea rentable socialmente, o maximizar la rentabilidad privada. En este último caso, si la tarifa que maximiza la rentabilidad privada reduce la rentabilidad social bajo los umbrales mínimos exigidos, el proyecto no será candidato a recibir subsidios estatales y, por cierto, tampoco contará con la aprobación de SNI para su ejecución.

Evidentemente, si el proyecto no resulta rentable socialmente para ningún monto de tarifa, el proyecto debe desecharse o bien reformularse, ya que la rentabilidad social es un requisito indispensable para declarar el proyecto de interés público.

Se debe entender que el análisis privado propuesto es simplificado, es decir, no se incluyen alternativas de financiamiento (préstamos, intereses, bonos, etc.), sino que más

bien se propone realizar un balance de ingresos y costos actualizados. Atento a ello, debe elaborarse el flujo de caja privado considerando todas las inversiones necesarias, los costos de mantenimiento de equipos e infraestructura y los costos operacionales del servicio, para cada año del horizonte de evaluación (todos ya estimados para la evaluación social, pero a precios privados), agregándose además los pagos realizados privadamente, como son los impuestos y transferencias que se eliminan en la evaluación social. El tratamiento del Impuesto al Valor Agregado (IVA) en el valor de los insumos debe analizarse caso a caso, ya que los pasajes no están afectos a IVA.

Por otra parte, a partir de la demanda estimada para el proyecto en el horizonte de evaluación y la tarifa definida, deben determinarse los ingresos anuales del servicio en todo el horizonte de evaluación. En algunos casos existen otros ingresos por conceptos como publicidad, servicios comerciales de diversa índole y otros.

Típicamente la vida útil del proyecto será mayor que el horizonte de evaluación, por lo que se debe incluir en el último año una estimación del valor residual, para lo cual se puede proceder de forma equivalente a lo propuesto para la evaluación social, es decir:

$$VR_i = ING_i^B - COS_i^I \quad [11-1]$$

Donde:

VR_i : Valor residual a agregar a los ingresos en el año i (último año del horizonte de evaluación del proyecto)

ING_i^B : es el valor actualizado al año i de los ingresos futuros asociados a un segundo período de operación igual al horizonte de evaluación.

COS_i^I : es el valor actualizado al año i de las inversiones necesarias para la operación del proyecto más los costos de mantenimiento y operacionales futuros asociados a un segundo período de operación igual al horizonte de evaluación.

Para efectos de actualización se debe usar una tasa de descuento privada, la cual debe incorporar tanto el costo alternativo del capital como los niveles de riesgo de la inversión. Se recomienda utilizar una tasa de descuento entre 10% y 12%, que equivale al costo de capital del inversionista (privado o público).

Finalmente, se determina el VAN del flujo de caja del proyecto:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{(-I_i - C_i + Ing_i + VR_i)}{(1+r)^i} \quad [11-2]$$

Donde:

I_0 : Corresponde a la inversión inicial del proyecto que se realiza en el año 0.

I_i : Corresponde a la inversión en el año i

C_i : Corresponde a los costos de operación y mantenimiento en el año i

Ing_i : Corresponde a los ingresos por venta de pasajes en el año i

VR_i : Corresponde al valor residual en el año i . Si $i < n$, se asocia exclusivamente a material rodante que se reemplaza durante el horizonte de evaluación (a valor de desguase). Si $i = n$, corresponde al valor residual al último año de las inversiones realizadas.

n : Horizonte de evaluación (años)

r : Tasa de descuento privada

Si el valor del VAN resultante es mayor o igual a cero, significa que el proyecto es rentable privadamente y no requiere de aportes estatales. Si el VAN resulta negativo, el proyecto no sería viable privadamente sin aportes del Estado. En este caso, el valor que tome el VAN privado del proyecto es equivalente al monto mínimo de aporte externo requerido actualizado al año cero del proyecto, siempre y cuando el VANS del proyecto sea mayor a cero.

11.2 Proyectos Ferroviarios de Carga

En el caso de los proyectos de carga, si bien el procedimiento de análisis es equivalente al caso de pasajeros, la principal diferencia radica en que la demanda de interés se asume cautiva del modo que presenta las mejores condiciones de transporte para el productor. En efecto, tal como se ha establecido en este documento, los proyectos ferroviarios de carga no surgen sino asociados a una demanda específica a transportar. Es decir, no se implementan servicios ferroviarios para luego ver que carga se capta en la ruta operada (como pasa con el caso de pasajeros). En este caso, los proyectos se diseñan para transportar la totalidad de la carga, por lo que el análisis debe orientarse a determinar la rentabilidad privada considerando tarifas de mercado para el transporte de los productos en cuestión, es decir, tarifas y condiciones de servicio tales que aseguren que la totalidad de la carga se transportará en el ferrocarril.

Para efectos de la evaluación social, la tarifa no representa un parámetro relevante, pues lo que se analiza es la rentabilidad social de llevar toda la carga en ferrocarril versus transportarla en otro modo de transporte. Luego, las modelaciones se realizan considerando que toda la carga estimada para el modo ferroviario se transporta en este

modo en la situación CP²¹ y toda la carga se transporta en el modo alternativo en la situación SP.

En el caso de la evaluación privada, la tarifa cobrada por el transporte debe determinarse, pues de ella dependen los ingresos del operador. Evidentemente, establecer el monto de la tarifa en esta etapa no es una tarea sencilla y debe ser definida y analizada considerando las tarifas del modo competitivo (en este caso típicamente el camión), estableciendo además si los atributos del modo ferroviario para el transporte de la carga en cuestión pudieran generar una mayor disposición a pagar que para el modo competitivo. Para esto, un método es el desarrollo de estudios de disposición a pagar directamente con las empresas productoras involucradas. Alternativamente, pudiera ser suficiente llevar a cabo entrevistas a los productores y recopilación de información de tarifas de transporte existentes en operaciones similares a la estudiada.

Establecida la tarifa, es posible obtener los ingresos para el operador a partir de la demanda de transporte estimada. Esto junto con los costos de inversión, mantenimiento y operación, estimados a precios privados, permite realizar la evaluación privada del proyecto, para lo cual se utiliza la misma metodología expuesta para el caso de proyectos de pasajeros, realizando los mismos cálculos y la misma tasa de descuento propuesta.

De igual manera que para el caso de proyectos de pasajeros, si el proyecto en análisis no posee rentabilidad social, el proyecto debe desecharse o bien reformularse, ya que la rentabilidad social es un requisito indispensable para declarar el proyecto de interés público.

En caso de que el VAN privado del proyecto resulte negativo, se debe establecer los montos de los eventuales subsidios (a la inversión y/u operación) que sean necesarios para alcanzar la rentabilidad mínima asociada a proyectos de esta naturaleza, que haga atractiva su operación privada, siempre y cuando el VANS del proyecto sea mayor a cero.

²¹ Es importante hacer notar que cuando se indica toda la carga se refiere a los embarques permanentes. En efecto, sucede con cierta frecuencia la necesidad de transportar volúmenes adicionales a los contratados al ferrocarril, los cuales no pueden ser transportados por éste pues normalmente no posee capacidad de reserva, ya que suele estar diseñado para el transporte de embarques de volúmenes constantes y permanentes. En este caso, la situación con proyecto podría considerar que cierto porcentaje de la carga (aquella correspondiente a embarques eventuales) se transporte por otro modo de transporte.

12 ANÁLISIS DE RIESGO

Generalmente, al evaluar proyectos de inversión, se asume que las variables utilizadas tienen un carácter determinístico. Se calcula, estima o asume un valor para cada una de las variables y posteriormente se utiliza dicho valor al realizar los cálculos y simulaciones necesarias.

Sin embargo, hay un número de variables en todos los proyectos de inversión en infraestructura de transporte, y especialmente en los proyectos de inversión en transporte ferroviario, que no tienen este comportamiento. Hay variables cuyo valor no puede predecirse con exactitud, sino que existe una cierta incertidumbre en su estimación.

Esta incertidumbre puede provenir principalmente de dos fuentes. La primera, es el hecho que existen contingencias cuya ocurrencia afectará al proyecto, tanto internas como externas al mismo. Dentro de las internas, puede tenerse por ejemplo dificultades en la construcción que encarecen la misma. Dentro de las externas, por ejemplo, puede encontrarse un alza inesperada del precio del petróleo que afecta la demanda del proyecto. La segunda fuente de incertidumbre radica en el proceso de evaluación propiamente tal. Se trata de la información disponible acerca de variables como valor del tiempo, elasticidades de demanda, etc., cuyos valores no necesariamente son un fiel reflejo de la realidad, además de factores humanos como errores en la estimación de demanda, en el diseño del proyecto, en la modelación del mismo, etc.

La experiencia internacional indica que en los proyectos de inversión en infraestructura de transporte suele darse que se sobreestima la demanda y se subestima los costos, es decir, se favorece generalmente la rentabilidad del proyecto²².

12.1 Fuentes de incertidumbre en el cálculo del VAN.

Según se explica en el trabajo “Evaluación Económica de Proyectos de Transporte” (de Rus, Betancor y Campos, 2006), hay diversos factores que introducen incertidumbre en la evaluación económica de un proyecto de inversión en transporte, afectando de distintas maneras el cálculo del VAN.

²² Ver “How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects?” (Flyvbjerg, Holm y Buhl, 2003) y “How (in)accurate are demand forecasts in public works projects?” (Flyvbjerg, Holm y Buhl, 2005).

El VAN se calcula según la siguiente expresión:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{BS_t - CS_t}{(1+i)^t}$$

En el componente I_0 (Inversión Inicial) se tiene como posibles fuentes de incertidumbre la duración de las obras, la diferencia entre los costos reales y los previstos, etc.

En el término BS_t (beneficio social en el período de tiempo “t”) se desconoce cuál será la demanda real del proyecto, ya que puede variar versus lo estimado el crecimiento de la renta o el precio del petróleo, por ejemplo, lo que variaría la demanda según lo estimado. Esta variable es relevante en los proyectos de transporte en general, pero lo es especialmente cuando se trata de pasos fronterizos, ya que el flujo por el paso puede depender fuertemente de este tipo de variables.

Con respecto a CS_t (costo social en el período de tiempo “t”), la incertidumbre se encuentra tanto en las cantidades consumidas (trabajo, materiales, energía, etc.) como en los costos de cada uno de estos ítems (salarios, precios).

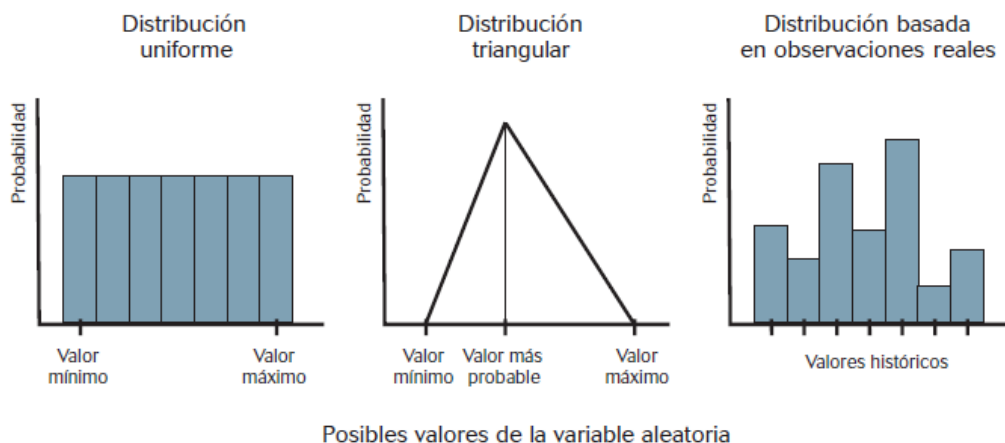
Como se menciona en la sección anterior, puede haber además incertidumbre causada por la modelación propiamente tal.

Cada una de estas fuentes de incertidumbre tiene un impacto diferente sobre los posibles valores finales del VAN de un proyecto. Por ello, y ante la imposibilidad de conocer con certeza todas y cada una de las variables aleatorias implicadas en un proyecto, resulta necesario seguir un proceso riguroso de modelización de la incertidumbre y análisis del riesgo que permita centrar los esfuerzos de análisis en aquellos elementos cuyo efecto relativo es mayor.

12.2 Variables Aleatorias

Los proyectos de inversión en transporte ferroviario presentan, como se menciona en la sección anterior, incertidumbre tanto en la demanda como en los costos (ya sea de inversión o de operación). Determinar un valor exacto para estas variables resulta una tarea muy difícil, por no decir imposible. Pero puede estimarse valores máximos y mínimos para las mismas con mayor facilidad, así como un valor más probable. Esto permite asignar distintas distribuciones de probabilidad a dichas variables. En la figura siguiente se puede ver algunos ejemplos.

Figura 12-1: Ejemplos de distribuciones de Variables Aleatorias

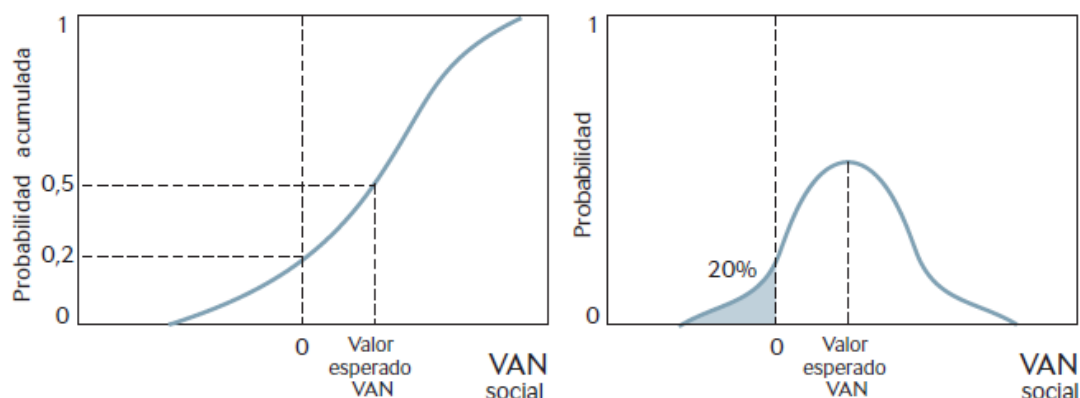


Fuente: “Evaluación Económica de Proyectos de Transporte” (de Rus, Betancor y Campos, 2006).

12.3 Simulaciones

Una vez que se ha definido cuáles son las variables aleatorias y se ha estimado una distribución para cada una, se puede, mediante la utilización de un programa de simulación, realizar numerosos cálculos del modelo para estimar el VAN del proyecto. Si se realiza esto un número elevado de veces tomando en cada simulación distintos valores para cada una de las variables (según las distribuciones escogidas), se obtendrá al finalizar el proceso una distribución de probabilidad para el VAN, lo que se analizará para tomar una decisión sobre el proyecto. En la figura a continuación se puede ver el resultado esperado de un proceso de este tipo.

Figura 12-2: Estimación del VAN del proyecto



Fuente: “Evaluación Económica de Proyectos de Transporte” (de Rus, Betancor y Campos, 2006).

En este ejemplo se tiene que con un 20% de probabilidades, el VAN del proyecto será cero o negativo, mientras que con un 80% de probabilidades el proyecto será rentable. Mediante un análisis detallado del valor esperado y la varianza del cálculo del VAN, se tiene información valiosa que informará a los tomadores de decisiones acerca de la rentabilidad esperada del proyecto.

Para profundizar en este tema, ver ejemplos y metodologías a seguir, se sugiere ver el documento “Evaluación Económica de Proyectos de Transporte” (de Rus, Betancor y Campos, 2006), trabajo en el que se basa esta sección de la presente metodología. También puede utilizarse el trabajo “Handbook for integrating risk analysis in the economic analysis of projects” (Asian Development Bank, 2002).

13 CONSIDERACIONES FINALES

Esta metodología es una adaptación del “Manual de Recomendaciones para el análisis técnico y evaluación social de proyectos de transporte ferroviario” (REDEDE) realizado por MIDEPLAN y SECTRA en 2010. Ésta entrega recomendaciones para el análisis técnico y evaluación social de proyectos de inversión pública en iniciativas que involucran sistemas ferroviarios de transporte interurbano y está dirigida a profesionales y técnicos encargados de formular y evaluar proyectos ferroviarios como apoyo al proceso de toma de decisiones de inversión desde la perspectiva del sector público. Es un primer acercamiento a una definición completa de una metodología para evaluar socioeconómicamente proyectos de transporte ferroviario. Como tal, trata numerosos temas y presenta metodologías para formularlos y evaluarlos, las que deben utilizarse en este tipo de proyectos.

Asimismo, se trata algunas externalidades y se explica cómo considerarlas dentro de una evaluación. Este es el caso de los accidentes. Sin embargo, existe un amplio rango de externalidades cuya evaluación monetaria no se incluye en este trabajo, y se espera generar a futuro metodologías para evaluar las más importantes.

En segundo lugar, la experiencia internacional indica que en los proyectos de inversión en transporte, históricamente se ha subestimado los montos de inversión y sobreestimado la demanda, con lo que se generalmente sobreestiman los beneficios de los proyectos. Por esto, se hace fundamental efectuar un análisis de riesgo donde estas y otras variables relevantes no se asuman determinísticas sino probabilísticas, para que al calcular los distintos indicadores, se incluya de alguna forma esta variabilidad.

Así también, la tónica del manejo de sistemas ferroviarios en algunos países, especialmente en Europa, y en el último tiempo en Chile, ha sido separar la inversión y mantención de infraestructura de la operación de los trenes.

Esta separación entre infraestructura y operación causa que los beneficios de un proyecto, al menos considerando los beneficios privados, se repartan entre distintos actores, por lo que se estima conveniente analizar en profundidad el impacto que pudiera tener esto en los proyectos de inversión.

Especialmente en el transporte de carga se da que la rentabilidad de un determinado proyecto para el generador de la carga (empresa privada) es tal que incluso realizando la inversión completamente este actor el proyecto sería de todas formas rentable para él. De todas formas, este proyecto podría ser socialmente rentable, lo que podría hacer que sea conveniente para el Estado invertir en el proyecto incluso si el privado no estuviera dispuesto. Se debe generar una metodología en la que se refleje estas distintas opciones.

La dificultad en este tema aparece cuando la inversión pública es sólo una fracción del total del proyecto y se desea calcular los beneficios sociales que genera el mismo, por lo que se debe determinar cómo realizar estos cálculos en cada una de las situaciones.

Finalmente, por la naturaleza del transporte ferroviario, se hace necesario en muchos proyectos considerarlo como un integrante de una cadena logística. Por esta razón, los beneficios de un proyecto ferroviario podrían causar una sinergia con otros proyectos. Estos proyectos generalmente impactan a más de un eslabón en la cadena, por lo que los beneficios de estos proyectos serían muchas veces superiores a los estimados (es decir, el proyecto tendría efectos indirectos sobre otros actores). Esta evaluación conjunta y complementaria con otros proyectos también debiera ser materia de análisis.

14 BIBLIOGRAFÍA

Asian Development Bank. 2002. "Handbook for Integrating Risk Analysis in the Economic Analysis of Projects". Asian Development Bank.

Banco Interamericano de Desarrollo (2006). "Evaluación Económica de Proyectos de Transporte". De Rus, G., Betancor, O., Campos, J. 2006.

Department for Transport, London (2007): "Transport Analysis Guidance (TAG): Unit 3.13.1 Guidance on Rail Appraisal".

Economics and Development Resource Center (1997): "Guidelines for the Economic Analysis of Projects".

European Commission (2008): "Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects".

European Commission, European Investment Bank (2005): "RAILPAG (Railway Project Appraisal Guidelines)".

Flyvbjerg, B., Skamris, M., Buhl, S. 2005. "How (In)accurate Are Demand Forecasts in Public Works Projects?". Journal of the American Planning Association, Vol. 71, No 2, Spring 2005.

Flyvbjerg, B., Skamris, M., Buhl, S. 2008. "How Common and How Large are Cost Overruns in Transport Infrastructure Projects?". Transport Reviews, 2003, Vol. 23, No. 1, 71-88.

Flyvbjerg, B. Skamris, M.K. y Buhl, S.L. (2003): "What Causes Cost Overrun in Transport Infrastructure Projects?", Transport Reviews 24 (1): 3-18.

Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), (2005): "Metodología general de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública".

MIDEPLAN - SECTRA (2010): "Manual de recomendaciones para el análisis técnico y evaluación social de proyectos de transporte ferroviario".

Skamris, M.K. y Flyvbjerg, B. (1997): "Inaccuracy in Traffic Forecasts and Cost Estimates on Large Transport Projects" *Transport Policy* 4 (3): 141-146.

15 ANEXO A: Diseño físico de proyectos ferroviarios

15.1 Diseño de la infraestructura

15.1.1 General

Las principales recomendaciones para el diseño de la infraestructura están contenidas en general en el Manual de Recomendaciones de Diseño de Infraestructura Ferroviaria REDEFE (SECTRA, 2003). En el presente texto ya sea se señala en forma precisa el acápite de REDEFE que contiene la recomendación, o se complementa la recomendación del citado Manual.

15.1.2 Requerimientos normativos técnicos mínimos

Hasta que se dicte Normas de Seguridad y Normas Técnicas Oficiales para el modo ferroviario, se recomienda adoptar las Normas de la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, EFE; las recomendaciones de REDEFE y las presentes proposiciones, lo que resulte más restrictivo.

15.1.3 Parámetros de diseño recomendados

15.1.3.1 Trocha

Las trochas de las vías férreas -medidas entre las caras interiores de ambos rieles- de uso en Chile son básicamente:

- 1.000 mm trocha métrica
- 1.067 mm 42" trocha angosta
- 1.435 mm 56 ½" trocha estándar internacional
- 1.676 mm 66" trocha ancha o española

Las consideraciones acerca de la trocha se encuentran en el punto 7.2 (e) páginas 7-2 y 7-3 del manual REDEFE.

La elección de la trocha a utilizar es casi obvia cuando el proyecto tiene conexión con vías existentes, aunque en algunos casos el proyecto puede considerar como alternativa modificar la trocha de estas vías existentes.

En los proyectos de líneas aisladas, sin embargo, una de las opciones es utilizar la trocha estándar internacional. Esta decisión debe considerarse en forma especialmente cuidadosa, ya que de adoptarse la trocha estándar, se imposibilita en forma definitiva una eventual conexión a otros ferrocarriles de la zona, así como la utilización de sus equipos en casos de emergencia. En estos proyectos se recomienda utilizar la trocha predominante en la zona. Si esto no se considera conveniente, se recomienda utilizar la trocha estándar (1.435 mm), con exclusión de cualquier otra.

15.1.3.2 Radios de curvas

Los puntos 3.5.4 y 3.5.5 en páginas 3-7 y siguientes del manual REDEFE tratan de las curvas y sus elementos complementarios.

Los radios de diseño son un compromiso de diversos factores, básicamente de la topografía del sector, de la velocidad de diseño y de la trocha. Para trocha ancha (1.676 mm) las normas de EFE

fijan un radio mínimo de 180 m para vías eclisadas y 550 m para vías soldadas en forma continua. Estos radios corresponden a una velocidad máxima de 56 km/h y 98 km/h respectivamente, con el peralte máximo (170 mm). Estas velocidades son insuficientes para los requerimientos actuales, pero corresponden a las características reales de las vías de EFE, de diseño muy antiguo. En los trazados nuevos o en las variantes proyectadas sobre trazados existentes es conveniente considerar velocidades mayores, tanto para trenes de carga como de pasajeros.

Considerando una aceleración transversal no compensada de $0,4 \text{ m/s}^2$ y un peralte máximo del 10% de la trocha, las velocidades de diseño y radio de curvas recomendadas son las siguientes.

Cuadro 14-1 *Radios mínimos de diseño de curvas*

<i>Servicio</i>	<i>Velocidad</i> [km/h]	<i>Radio</i> [m]
<i>Carga</i>	100	600
<i>Pasajeros</i>	230	3.000
<i>Mixto</i>	230	3.000

NOTA: Estos radios de curvas difieren de lo recomendado en el punto 3.5.5 de REDEFE. Ver en dicho manual radios de curva mínimos que no introducen restricciones de velocidad, para cada tipo de sistema ferroviario.

15.1.3.3 Rampas y acordamientos verticales

El punto 3.5.6 en páginas 3-19 y siguientes del manual REDEFE trata de la alineación en perfil de los trazados.

En general, se recomienda utilizar rampas máximas de 15‰ para los trazados mixtos y de carga, y de 30‰, para los trazados exclusivos de pasajeros. En los casos en que el sentido cargado es en bajada, la restricción al diseño está en el remolque de los equipos vacíos, donde podría justificarse el uso de gradientes mayores a la indicada. En todos estos casos el diseño debe optimizar el trade-off entre los costos de construcción de la vía y sus costos operacionales.

Se recomienda utilizar los siguientes valores en curvas de acordamiento vertical:

Cuadro 14-2 *Radios de curvas de acordamiento vertical*

<i>Velocidad [km/h]</i>	<i>Radio [m]</i>
100	3.000
160	8.000
230	16.000

Fuente: REDEFE

15.1.3.4 Perfiles de riel

Los ferrocarriles chilenos han adoptado desde sus inicios la norma norteamericana, que se caracteriza básicamente por la forma de la cabeza del riel, la forma de la zapata, la dureza del acero y sus dimensiones en pulgadas.

La entidad encargada de la normalización de los perfiles de riel en Norteamérica es AREMA, la que en su Manual recomienda la utilización de 6 secciones normalizadas:

– 115RE	57 [kg/m]
– 119RE	59 [kg/m]
– 132RE	65 [kg/m]
– 133RE	66 [kg/m]
– 136RE	68 [kg/m]
– 140RE	69 [kg/m]

Estos perfiles normalizados utilizan sólo dos tamaños de sillars de asiento y de anclas, y cuatro modelos de eclisas. Las características de estas secciones aparecen en la Tabla 7-8, página 7-11 de REDEFE.

En los proyectos con rieles nuevos se recomienda utilizar exclusivamente las secciones AREMA antes señaladas, y en los proyectos que utilizan rieles de reemplazo, sólo perfiles norteamericanos de uso común en Chile (ASCE80 y 100ARA-A). En los proyectos con riel nuevo se propone utilizar el perfil 115RE (riel tipo X de EFE) como sección mínima, que también corresponde a la sección mínima adoptada por EFE.

15.1.3.5 Cargas máximas por eje y totales

Las cargas de diseño en la infraestructura inciden fundamentalmente en dos aspectos: la sección de los rieles y el diseño de puentes y obras de arte menores.

En lo que se refiere a los rieles, sin perjuicio de la sección mínima recomendada en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para el cálculo de la sección efectiva se recomienda la utilización de la fórmula propuesta por AREMA:

$$q = 9 \times \left(\frac{P}{2} + 0,00003861 \times \frac{PV^2}{2} \right)^{2/3} \quad [15-1]$$

En que:

q : es el peso del metro lineal de riel en kg

P : es la carga por eje en toneladas

V : es la velocidad máxima de circulación en km/h

El diseño de puentes y obras de arte se trata en la Sección 5 del manual REDEFE. En esta sección se hace presente que el mayor tren de cargas tipo utilizado por EFE es el denominado Tren Tipo C, que considera un peso por eje máximo de 24 toneladas para las locomotoras y 18

toneladas para los vagones. Estas solicitudes han sido sobrepasadas hace muchos años por los equipos modernos y se prevé que dichas solicitudes seguirán aumentando. Por esta razón, se recomienda utilizar el Tren Tipo Cooper E80, que considera un peso por eje hasta de 36 toneladas para las locomotoras y una carga de 12 toneladas por metro lineal para los vagones.

En las vías de pasajeros y mixtas, los puentes metálicos presentan limitaciones de velocidad y mayores costos de mantenimiento tanto de la vía férrea como de los puentes mismos. Por estas razones, se recomienda que los puentes nuevos se diseñen en estructuras de hormigón o estructuras metálicas colaborantes que permitan la colocación de balasto.

15.1.3.6 Gálidos y entrevías

Los gálidos necesarios para el desplazamiento del equipo rodante se analizan en la Sección 2 del manual REDEFE. A su vez las entrevías se analizan en detalle en la Sección 3 del mismo.

Los gálidos de las obras de arte deben considerar las dimensiones máximas del equipo que circulará por ellas. Sin embargo, debido al permanente aumento de las dimensiones del equipo, los gálidos deben considerar futuras solicitudes, especialmente en altura.

Se propone utilizar para el diseño de los gálidos de obra de arte una altura libre de 8 metros y la circulación de equipos de 3,4 metros de ancho total. En trazados nuevos de vías múltiples, se recomienda entrevías mínimas de 5 metros, en forma independiente de la trocha.

Las dimensiones finales deben considerar los desplazamientos dinámicos del equipo, en la forma descrita en el manual REDEFE.

15.1.3.7 Cruces a nivel

Las recomendaciones relativas al diseño de los cruces a nivel son:

- En proyectos de nuevas líneas, no se permitirán cruces a nivel.
- En proyectos de rehabilitación de líneas existentes, los cruces cuyo Momento de Circulación MC exceda 100.000 deberán ser desnivelados y aquellos con MC entre 10.000 y 100.000 deberán ser dotados con barreras automáticas.
- Deberá procurarse la supresión de los cruces con MC inferior a 10.000, redireccionándolos mediante vialidad complementaria.

15.1.3.8 Otros parámetros de diseño de vías

a) Durmientes

En líneas de alta velocidad o de tráfico pesado se recomienda el uso de durmientes de hormigón con sujeciones elásticas.

En líneas de bajo tráfico, en cambio, se recomienda el uso de durmientes de madera tratada (impregnada) con sujeciones rígidas.

La combinación de sujeciones elásticas con durmientes de madera es normalmente bastante más costosa, por lo que no se recomienda; sin embargo en algunos casos –especialmente por uniformidad de ciertos sectores – puede ser una opción conveniente.

Las dimensiones de los durmientes de madera pueden variar en los diversos ferrocarriles. EFE ha adoptado la sección 25x15x275 cm para los de trocha ancha y 25x15x180 cm para los de trocha

angosta. Sin embargo, en otros ferrocarriles se utiliza secciones menores, que corresponden a las normas norteamericanas.

Las dotaciones recomendadas de durmientes de madera figuran en la Tabla 7-15 página 7-25 del manual REDEFE.

b) Sujeciones y fijaciones

Para durmientes de madera, se recomienda la utilización de sujeciones rígidas con sillas de asiento, tirafondos y anclas. Para durmientes de hormigón se recomienda la utilización de sujeciones elásticas de tipo no ajustable (sin pernos ni tirafondos).

El punto 7.6 en páginas 7-27 y siguientes del manual REDEFE trata de las sujeciones.

c) Velocidad o velocidades de circulación

Independientemente de las velocidades mínimas antes propuestas, el proyecto debe considerar en el diseño las velocidades efectivas de los vehículos, para la determinación de los peraltes, curvas de acordamiento, entrevías y otros elementos complementarios. Estos temas están detallados en la Sección 3 de REDEFE.

d) Obras de arte menores

Se recomienda la utilización de las obras de arte tipo de EFE en todos los proyectos, por razones de uniformidad, sin perjuicio de los criterios de diseño propuestos en esta Sección.

Entre las obras de arte figuran también las obras de desnivelación de cruces con las carreteras, las que pueden regirse por parámetros ferroviarios (pasos inferiores) o viales (pasos superiores).

15.1.3.9 Electrificación

En el caso de los proyectos nuevos, debe evaluarse la conveniencia de diseñar una red electrificada, especialmente en el caso de los servicios de pasajeros.

La tecnología del sistema electrificado de los ferrocarriles chilenos, de 3.000V corriente continua, es más adecuada para servicios suburbanos que para trenes de media y larga distancia. Para estos servicios es conveniente analizar la conveniencia de utilizar la tecnología moderna, 25.000V corriente alterna.

En los casos en que el proyecto incluye tramos ya electrificados, no necesariamente la tracción deberá ser eléctrica. En algunos casos la tracción diesel presenta importantes ventajas de flexibilidad y de costos, dependiendo de la densidad de tráfico del tramo

15.1.3.10 Señalización y Comunicaciones

Como criterio general, Se recomienda adoptar el estándar norteamericano de seguridad ATCS.

En los proyectos de pasajeros en que los trenes no comparten la infraestructura (vías exclusivas) se recomienda utilizar sistemas avanzados de ATP (Automatic Train Protection) y ATO (Automatic Train Operation).

En sistemas mixtos la tecnología deberá acomodarse a las posibilidades de los equipos rodantes más simples, con detección de los vehículos mediante equipos instalados en la vía férrea. Sin embargo, los sistemas modernos permiten la coexistencia de diferentes grados de seguridad.

15.2 Diseño de los equipos rodantes

15.2.1 General

En Chile no existe un texto equivalente al manual REDEFE para el diseño de los equipos rodantes. Algunos aspectos básicos de los trenes formados por locomotoras y carros o coches se rigen por las normas de la American Association of Railroads AAR, básicamente rodado, frenos y enganches. En el caso de los automotores de pasajeros, sólo el rodado se rige por las normas AAR; los frenos de los automotores más recientes corresponden a normas de la Union International des Chémins de Fer UIC y los enganches son del tipo Scharfenberg de operación automática.

Los restantes elementos de los equipos de pasajeros pueden regirse por las normas nacionales del fabricante o por las normas UIC.

15.2.2 Requerimientos normativos técnicos

Hasta que se dicten Normas Oficiales para el material rodante ferroviario, se recomienda adoptar las Normas Técnicas de la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, EFE; las recomendaciones de REDEFE y las presentes proposiciones, lo que resulte más restrictivo.

15.2.2.1 Rodado

Las paradas de ruedas - ejes, ruedas y llantas- tanto en EFE como en los restantes ferrocarriles se rigen por las normas AAR, las que determinan los materiales de cada uno de los componentes, sus dimensiones y perfiles. Se recomienda utilizar la Norma Técnica de rodado de EFE, en especial en lo que se refiere a la dureza y perfiles de ruedas y llantas.

15.2.2.2 Peso por eje y peso total

Deberá verificarse que el peso por eje y peso total de los equipos del proyecto no excedan los valores admisibles de la enrielladura, puentes y obras de arte de los sectores por los que circularán.

15.2.2.3 Enganches

Se recomienda utilizar la Norma Técnica de enganches de EFE y en lo que esta norma no contemple, lo dispuesto en las normas AAR respectivas.

15.2.2.4 Resistencia estructural

Para el diseño de los equipos de pasajeros, se recomienda adoptar las normas UIC en lo referente a la resistencia estructural de coches. Para los equipos reacondicionados deberá verificarse al cumplimiento de estas normas.

Para los equipos de carga y locomotoras se recomienda utilizar las correspondientes normas AAR.

15.2.2.5 Transporte de productos peligrosos

Los proyectos que contemplen el transporte de productos peligrosos deberán ser verificados en el cumplimiento de las Normas Técnicas de EFE, las recomendaciones de REDEFE y particularmente en lo dispuesto en la norma BOE-6000 del DOT de USA.

15.2.2.6 Gálidos

En los proyectos deberá verificarse que el gálido dinámico de los equipos rodantes sea compatible con los gálidos de las obras de arte en toda la red y no sólo en el tramo donde prestarán servicio.

Esto es especialmente importante en el caso de equipos reacondicionados, para asegurar que puedan ser redestinados o para su traslado eventual a maestranzas y talleres.

15.2.2.7 Emisiones de gases

Las normas norteamericanas (EPA) que controlan las emisiones de gases se presentan en 5 etapas: Tier 0 a 4. Se recomienda la adopción de la norma norteamericana para emisiones de locomotoras. EPA (Environmental Protection Agency): Control of Emissions of Air Pollution from Locomotives and Marine Compression-Ignition Engines Less Than 30 Liters per Cylinder, May 6, 2008.

15.2.2.8 Emisiones de ruido

Se recomienda la adopción de las normas norteamericanas sobre niveles de ruido aplicadas a los vehículos ferroviarios. Estas normas, así como las medidas recomendadas para el análisis y reducción del ruido generado por los vehículos ferroviarios, están contenidos en el Handbook for the Measurement, Analysis and Abatement of Railroad Noise del Department of Transportation de los Estados Unidos.

La tabla siguiente muestra los límites de exposición al ruido regulados por la Occupation Safety and Health Administration (OSHA), US Department of Labor.

Cuadro 14-3 Límites permitidos de exposición al ruido (OSHA)

Nivel de ruido [Db(A)]	Tiempo permitido [h]	Nivel de ruido [Db(A)]	Tiempo permitido [min]
80	32,0	106	52,20
81	27,9	107	45,60
82	24,3	108	39,60
83	21,1	109	34,20
84	18,4	110	30,00
85	16,0	111	26,40
86	13,9	112	22,80
87	12,1	113	19,80
88	10,6	114	17,40
89	9,2	115	15,00
90	8,0	116	13,20
91	7,0	117	11,40
92	6,2	118	9,60
93	5,3	119	8,40
94	4,6	120	7,50
95	4,0	121	6,60
96	3,5	122	5,70
97	3,0	123	4,92
98	2,6	124	4,32
99	2,3	125	3,78
100	2,0	126	3,24
101	1,7	127	2,82
102	1,5	128	2,46
103	1,4	129	2,16
104	1,3	130	1,86
105	1,0		

Fuente: Occupation Safety and Health Administration (OSHA), US Department of Labor

La información acerca del ruido permisible a locomotoras y carros aparece en el Manual antes citado y no se reproduce aquí por ser demasiado extensa.

15.2.3 Parámetros de diseño recomendados

15.2.3.1 Capacidad óptima del equipo

Se recomienda determinar el tamaño óptimo de los equipos de pasajeros mediante un análisis de sensibilidad que considere el costo de equipos de diferente capacidad versus la frecuencia del servicio.

15.2.3.2 Velocidad o velocidades de circulación

Para los servicios de pasajeros, se recomienda determinar el tiempo óptimo de viaje mediante un análisis de sensibilidad que considere el costo de inversión y operación de los equipos versus el volumen de demanda.

Para los servicios de carga, se recomienda determinar el tiempo óptimo de viaje mediante un análisis de sensibilidad que considere el costo de inversión versus los costos de operación.

16 ANEXO B: Diseño operacional de proyectos ferroviarios

16.1 General

Las proposiciones y recomendaciones que siguen tienen como propósito asegurar un adecuado planteamiento técnico del proyecto y por lo tanto, una correcta estimación de las inversiones y costos operacionales que éste requiere. El grado de detalle de ellas corresponde al nivel de anteproyecto. Para el diseño en los estudios de perfil se utilizará estimaciones simplificadas, pero los criterios de diseño son los mismos.

16.2 Dimensionamiento de la flota

16.2.1 General

La principal precaución relativa al dimensionamiento de la flota se refiere a que ésta no resulte insuficiente en la práctica, subestimando las inversiones en equipo rodante. Las características técnicas de los equipos han sido tratadas en el capítulo 6.

16.2.2 Dimensionamiento de la oferta en los servicios de pasajeros

16.2.2.1 Tiempo de viaje

Se recomienda verificar que el parque haya sido calculado con los tiempos de viaje utilizados para determinar la demanda y que a su vez las velocidades de circulación sean compatibles con las características de la infraestructura y de los equipos rodantes del proyecto.

Los tiempos de viaje pueden ser calculados con el modelo OperaTren de Sectra u otro modelo análogo.

16.2.2.2 Frecuencia

En los servicios de media y larga distancia es conveniente efectuar análisis adicionales para determinar la influencia de la frecuencia en la demanda y establecer la frecuencia óptima del servicio. Es también conveniente verificar que el proyecto operacional no considere el establecimiento de frecuencias innecesarias basadas en el aprovechamiento de los costos fijos.

16.2.2.3 Acomodaciones

La determinación del tipo de acomodaciones que formará la oferta es materia de estrategia comercial, la que escapa al alcance de esta metodología. Los estudios de mercado determinarán el tipo de acomodaciones recomendable. Este aspecto, sin embargo, incide en la cantidad de plazas que puede contener un coche o automotor y debe verificarse.

Se recomienda verificar que la cantidad de plazas considerada para la determinación del parque corresponda con la capacidad efectiva de los vehículos del proyecto.

16.2.2.4 Ocupación de los vehículos

Se recomienda utilizar ocupaciones promedio del orden de 60% para dimensionar el parque de equipo rodante.

16.2.2.5 Parque adicional

Los parques adicionales recomendados se muestran en la tabla siguiente. Las cifras recomendadas consideran un plan de mantenimiento diseñado para cada flota de acuerdo con las recomendaciones de la fábrica y de estricto cumplimiento.

Cuadro 15-1 Parque adicional de equipos de pasajeros recomendado

Tipo de equipo	% adicional	
	Nuevo	Reconstruido
Automotores eléctricos	5	10
Automotores diesel	10	20
Locomotoras eléctricas	5	10
Locomotoras diesel	10	20
Coches	10	20

16.2.3 Dimensionamiento de la oferta en los servicios de carga

16.2.3.1 Volúmenes por transportar

Se recomienda verificar que el parque de equipo rodante (carros y locomotoras) se haya dimensionado con las cifras de transporte mínimo diario o mensual establecido para el proyecto, en oposición a cifras promedio anuales.

16.2.3.2 Tipo de producto

Las presentes recomendaciones se limitan al transporte de productos peligrosos, los que están definidos en las normas INN, citadas en el manual REDEFE.

En el caso del transporte de productos peligrosos, las características de seguridad de los vagones están contenidas en la norma BOE-6000 del Department of Transportation DOT de USA, al que refiere la norma chilena. Esta norma también contiene disposiciones operacionales.

El transporte de productos peligrosos debe efectuarse en vagones construidos y mantenidos de acuerdo con la norma BOE-6000 del DOT de USA, a la que se refieren las Normas Oficiales del INN y las normas de EFE.

16.2.3.3 Distancias, tiempos de viaje y ciclos de rotación

Se recomienda verificar la factibilidad real de los ciclos de rotación consultados en el proyecto, teniendo en cuenta el resto del tráfico ferroviario de los diversos sectores.

16.2.3.4 Frecuencias

Se recomienda verificar que la frecuencia de operación de los trenes sea compatible con el ciclo de rotación, con la capacidad de carga y descarga en terminales y con la cantidad de equipos en servicio.

16.2.3.5 Tamaño de los trenes

Se recomienda verificar que el tamaño de los trenes sea compatible con las características de la infraestructura y de los equipos.

16.2.3.6 Parque adicional

Los parques adicionales recomendados se muestran en la tabla siguiente. Las cifras recomendadas consideran un plan de mantenimiento diseñado para cada flota de acuerdo con las recomendaciones de la fábrica y de estricto cumplimiento.

Cuadro 15-2 Parque adicional de equipos de carga recomendado

Tipo de equipo	% adicional	
	Nuevo	Reconstruido
Locomotoras eléctricas	5	10
Locomotoras diesel	10	20
Carros de Carga	10	20

16.3 Programas de tráfico

Se recomienda efectuar las siguientes verificaciones respecto de los programas de tráfico:

- Los canales de circulación requeridos por el proyecto deben ser compatibles con el tráfico actual y el tráfico comprometido con terceros durante el período de desarrollo del proyecto.
- Si los actuales canales de circulación disponibles no son suficientes, el proyecto debe considerar la ampliación de capacidad de la infraestructura, ya sea mediante modificación de los sistemas de movilización, mediante la apertura de nuevos puntos de cruzamiento o mediante la construcción de vías de circulación adicionales.
- Los canales de circulación asignados al proyecto deben ser compatibles con las velocidades de circulación de sus trenes y con los cruzamientos con trenes propios y de terceros.
- Las dotaciones de personal de trenes deben ser compatibles con los programas de tráfico.

16.4 Aspectos de seguridad

Las únicas normas de seguridad existentes, aparte de las normas del INN para el manejo y transporte de productos peligrosos, son las de EFE, que abarcan sólo algunos temas y que tienen sólo validez interna.

Los proyectos de transporte ferroviario que involucren sustancias peligrosas como están definidas en las Normas INN, deberán atender sus disposiciones y la evaluación deberá verificar su cumplimiento. En los aspectos no cubiertos por las Normas INN se recomienda adoptar las disposiciones de la BOE-6000 del DOT de USA.

Las Normas del INN son las siguientes:

NCh382.Of2004	Sustancias Peligrosas - Clasificación general
NCh385.Of1955	Medidas de seguridad en el transporte de materiales inflamables y explosivos
NCh390.Of1960	Medidas adicionales de seguridad en el transporte ferroviario de explosivos y materiales inflamables
NCh393.Of1960	Medidas especiales de seguridad en el transporte ferroviario o en camiones, de petróleo, sus productos y de materiales similares

NCh893.EOf1972	Transportes - Ferrocarriles - Vías y material rodante - Terminología
NCh1061.Of1997	Cloro líquido - Medidas de seguridad y de emergencia en el transporte por ferrocarril, en vagones-tanques, y en la carga, recepción y descarga de ellos
NCh2120/1.Of2004	Sustancias peligrosas - Parte 1: Clase 1- Explosivos
NCh2120/2.Of2004	Sustancias peligrosas - Parte 2: Clase 2 – Gases
NCh2120/3.Of2004	Sustancias peligrosas - Parte 3: Clase 3 - Líquidos inflamables
NCh2120/4.Of2004	Sustancias peligrosas - Parte 4: Clase 4 - Sólidos inflamables, sustancias que pueden experimentar combustión espontánea y sustancias que en contacto con el agua desprenden gases inflamables
NCh2120/5.Of2004	Sustancias peligrosas - Parte 5: Clase 5 - Sustancias comburentes y peróxidos orgánicos
NCh2120/6.Of2004	Sustancias peligrosas - Parte 6: Clase 6 - Sustancias tóxicas y sustancias infecciosas
NCh2120/7.Of2004	Sustancias peligrosas - Parte 7: Clase 7- Sustancias radiactivas
NCh2120/8.Of2004	Sustancias peligrosas - Parte 8: Clase 8 - Sustancias corrosivas
NCh2120/9.Of2004	Sustancias peligrosas - Parte 9: Clase 9 - Sustancias y objetos peligrosos varios
NCh2136.Of2003	Transporte de ácido sulfúrico por vía terrestre - Disposiciones de seguridad
NCh2463.Of1999	Sustancias corrosivas - Soda cáustica en solución - Disposición de seguridad para el transporte
NCh2891.Of2004	Transporte de ácido sulfúrico por vía terrestre - Tanque para vagón-tanque de ferrocarril - Requisitos de diseño y fabricación

Para el resto de los aspectos del diseño ferroviario, mientras no se emita Normas Oficiales de Seguridad Ferroviaria, se recomienda adoptar las Normas de Seguridad de EFE. En los aspectos no cubiertos por estas Normas de Seguridad se recomienda adoptar las disposiciones de la Federal Railroad Administration FRA de US, individualizadas en el estudio Análisis de la Seguridad en el Transporte Ferroviario del MTT (2008).

Las Normas de Seguridad oficiales de EFE son las siguientes:

NS-01-01-0	Vías férreas
NS-01-05-0	Cruces a nivel
NS-07-50-0	Señalización
NS-08-50-0	Electrificación
NS-09-55-9	Carros para sustancias peligrosas

NS-09-71-0	Sustancias peligrosas
NS-10-50-0	Material rodante general
NS-10-50-7	Faros y lámparas de señalización
NS-10-51-3	Equipamiento de seguridad en trenes
NS-10-51-5	Regulaciones y equipos de incendio en trenes de pasajeros
NS-10-52-5	Bocinas y campanas
NS-10-59-1	Equipamientos de seguridad para personas
Otras normas antiguas (o proyectos de normas) no han sido oficializadas. Algunos de sus aspectos han sido incluidos en las normas oficiales.	
NSF 17-001	Investigación de accidentes
NSF 12-001	Cierros de la vía
NSF 13-001	Obras de arte
NSF 21-001	Estaciones de pasajeros
NSF 42-001	Comunicaciones
NSF 49-001	Administración del tráfico
NSF 69-001	Vidrios y plásticos de seguridad

17 ANEXO C: Parámetros funciones flujo-tiempo trenes de carga

Forma funcional:

$$TV_a = \phi_0 + \phi_1 \cdot F_{pa} + \phi_2 \cdot F_{ca} + \phi_3 \cdot \left(\frac{F_{pa} + F_{ca}}{Cap_a} \right)^{\phi_4}$$

Donde:

TV_a : Tiempo de viaje del tren, en min/km en el arco a

F_{ca} : Flujo total de trenes de carga en el arco a (trenes/semana)

F_{pa} : Flujo total de trenes de pasajeros en el arco a (trenes/semana)

Cap_a : Capacidad en el arco a (trenes/semana)

$\phi_0, \phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$: Parámetros de la función

La función anterior está definida y calibrada sólo para la red sur de Chile y se aplica en función de tramos de la vía (o ramales) y según escenario tecnológico de la infraestructura.

Los escenarios son:

- Situación Actual correspondiente al año 1997, por lo que tiene poca validez hoy en día, en algunos tramos (ej. Santiago-Chillán).
- Escenario 1: Velocidades de operación para trenes de pasajeros de 140 km/hr y de carga de 80 km/hr.
- Escenario 2: velocidades de 90 km/hr para pasajeros y 80 km/hr para carga.

En los cuadros siguientes se muestran los parámetros correspondientes a los tramos disponibles y para cada escenario definido.

Parámetros Funciones Flujo-Tiempo Escenario Actual

Parámetros	Alameda - San Fernando				San Fernando - Linares			
	Carga	Test t	Pasajeros	test t	Carga	test t	Pasajeros	test t
$\phi 0$	1.16687	578.94	0.6915	250.01	1.2485	46.57	0.6438	69.22
$\phi 1$	0.00004	2.24	0.0001	3.69	0.0013	3.13	0.0004	2.13
$\phi 2$	0.00004	1.92	0.0003	11.41	0.0060	13.60	0.0012	6.82
$\phi 3$	0.13855	16.89	0.2182	19.46	0.2018	4.01	0.1116	5.23
$\phi 4$	19.00		7.00		9.00		13.00	
R2 ajust	0.68		0.89		0.89		0.74	
Parámetros	Linares - San Rosendo				San Rosendo - Temuco			
	Carga	Test t	Pasajeros	test t	Carga	test t	Pasajeros	test t
$\phi 0$	1.3458	50.38	0.8275	54.10	1.4071	27.32	1.2416	57.20
$\phi 1$	0.0010	1.99	0.0005	1.20	0.0054	3.28	0.0019	2.64
$\phi 2$	0.0072	13.39	0.0020	5.37	0.0104	5.50	0.0026	3.16
$\phi 3$	0.4075	7.47	0.1164	1.20	0.2849	1.85	4.0404	1.81
$\phi 4$	10.00		6.00		7.00		12.00	
R2 ajust	0.94		0.73		0.87		0.72	
Parámetros	Temuco - Puerto Montt				San Rosendo – Talcahuano			
	Carga	Test t	Pasajeros	test t	Carga	test t	Pasajeros	test t
$\phi 0$	1.9976	119.20	1.5829	174.27	1.6201	39.60	1.1604	93.22
$\phi 1$	0.0059	7.69	0.0046	10.88	0.0022	3.37	0.0005	1.97
$\phi 2$	0.0170	22.60	0.0055	13.26	0.0086	13.52	0.0019	7.62
$\phi 3$	1.4484	7.13	1.1293	5.45	0.8674	7.19	1.0598	1.98
$\phi 4$	7.00		9.00		7.00		10.00	
R2 ajust	0.89		0.77		0.90		0.69	
Parámetros	Concepción – Curanilahue							
	Carga	test t	Pasajeros	test t				
$\phi 0$	2.07315	46.27	2.1190	103.72				
$\phi 1$	0.00341	2.41	0.0015	2.36				
$\phi 2$	0.00881	5.92	0.0017	2.63				
$\phi 3$	6.56053	9.82	0.8120	6.20				
$\phi 4$	11.00		7.00					
R2 ajust	0.87		0.78					

Fuente: Análisis y Desarrollo Evaluación Sistema de Transporte Interurbano, XI Etapa, Sectra 2000

Parámetros Funciones Flujo-Tiempo Escenario 1

Pará metros	Alameda - San Fernando						San Fernando - Linares					
	Carga 1	test t	Carga 2	test t	Pasa jeros	test t	Carga 1	test t	Carga 2	test t	Pasa jeros	test t
φ0	0.69983	218.73	0.90605	333.60	0.46733	218.41	0.79129	85.60	0.97168	109.10	0.49376	143.88
φ1	0.00005	1.93	0.00004	1.99	0.00004	2.15	0.00053	3.02	0.00061	3.59	0.00018	2.14
φ2	0.00008	3.35	0.00005	2.08	0.00005	2.45	0.00222	12.61	0.00172	10.17	0.00068	8.29
φ3	0.00020	8.14	0.00012	5.38	0.00015	7.70	0.00255	14.49	0.00311	18.34	0.00087	10.63
φ4	0.33959	22.40	0.21443	17.27	0.12035	13.81	0.19319	5.47	0.12425	3.65	0.11776	7.12
φ5	18.00		15.00		10.00		7.00		7.00		7.00	
R2 aj.	0.80		0.71		0.72		0.78		0.78		0.71	
Pará metros	Linares - San Rosendo						San Rosendo - Temuco					
	Carga 1	test t	Carga 2	test t	Pasa jeros	test t	Carga 1	Test t	Carga 2	test t	Pasa jeros	test t
φ0	0.77431	56.13	0.88826	65.05	0.48466	115.84	0.8166	49.39	0.90258	31.99	0.51682	132.98
φ1	0.00043	2.39	0.00040	2.22	0.00016	2.20	0.00069	2.05	0.00129	1.96	0.00021	2.31
φ2	0.00193	10.43	0.00129	7.03	0.00069	9.48	0.00266	7.63	0.00224	3.34	0.00070	7.24
φ3	0.00205	11.01	0.00297	16.11	0.00091	12.56	0.00310	8.80	0.00458	6.40	0.00099	9.92
φ4	0.18762	7.50	0.16641	6.72	0.05113	5.02	0.41878	5.98	0.90699	3.33	0.18654	6.54
φ5	9.00		9.00		7.00		12.00		13.00		17.00	
R2 aj.	0.79		0.82		0.79		0.72		0.72		0.70	
Pará metros	Temuco - Puerto Montt						San Rosendo – Talcahuano					
	Carga 1	test t	Carga 2	test t	Pasajer os	test t	Carga 1	test t	Carga 2	test t	Pasa Jeros	Test t
φ0	0.77709	35.32	0.94690	53.42	0.45816	43.73	0.78540	78.13	0.91333	96.73	0.52213	185.99
φ1	0.00093	2.05	0.00070	1.95	0.00049	1.85	0.00022	1.89	0.00021	1.87	0.00008	1.90
φ2	0.00322	7.08	0.00207	5.77	0.00119	4.49	0.00150	13.51	0.00130	11.40	0.00041	8.54
φ3	0.00334	7.14	0.00570	15.46	0.00223	8.24	0.00150	13.51	0.00176	15.43	0.00045	9.03
φ4	0.17305	3.57	0.20466	4.66	0.04401	1.71	1.04980	6.59	4.42228	6.84	0.17050	4.20
φ5	10.00		13.00		8.00		18.00		35.00		12.00	
R2 aj.	0.77		0.89		0.74		0.70		0.71		0.70	
Pará metros	Concepción - Curanilahue											
	Carga 1	test t	Carga 2	test t	Pasajer os	test t						
φ0	0.83290	110.44	0.94397	193.71	0.53224	194.08						
φ1	0.00036	3.29	0.00024	1.80	0.00017	2.47						
φ2	0.00036	3.29	0.00073	5.52	0.00044	6.56						
φ3	0.00100	7.49	0.00098	7.42	0.00052	7.66						
φ4	0.45900	10.81	1.53848	12.42	0.24753	10.47						
φ5	7.00		11.00		8.00							
R2 aj.	0.70		0.70		0.70							

Fuente: Análisis y Desarrollo Evaluación Sistema de Transporte Interurbano, XI Etapa, Sectra 2000

Parámetros Funciones Flujo-Tiempo Escenario 2

Pará metros	Alameda - San Fernando						San Fernando - Linares					
	Carga 1	test t	Carga 2	test t	Pasa jeros	test t	Carga 1	test t	Carga 2	test t	Pasa jeros	test t
φ0	0.6603	142.64	0.9089	182.42	0.67100	431.54	0.8044	79.18	0.9795	120.44	0.6768	232.21
φ1	0.0001	2.58	0.0002	2.85	0.00006	3.99	0.0007	3.36	0.0009	6.00	0.0006	8.36
φ2	0.0003	5.75	0.0002	3.57	0.00006	3.99	0.0019	9.41	0.0018	11.78	0.0007	10.89
φ3	0.0005	8.10	0.0005	7.69	0.00011	5.99	0.0021	10.79	0.0029	18.74	0.0010	14.54
φ4	0.3669	18.03	0.3343	15.00	0.08800	13.45	0.2136	6.72	0.1437	4.62	0.0677	3.43
φ5	15.00		10.00		7.00		4.00		7.00		13.00	
R2 aj	0.73		0.70		0.70		0.83		0.81		0.71	
Pará metros	Linares - San Rosendo						San Rosendo - Temuco					
	Carga 1	test t	Carga 2	test t	Pasa jeros	test t	Carga 1	test t	Carga 2	test t	Pasa jeros	test t
φ0	0.7879	64.69	0.9009	81.44	0.6818	194.83	0.85310	46.32	1.0049	56.04	0.6867	108.96
φ1	0.0005	2.74	0.0007	4.04	0.0004	6.59	0.00083	1.93	0.0013	3.06	0.0004	2.18
φ2	0.0016	8.70	0.0011	6.77	0.0006	10.55	0.00156	4.16	0.0026	6.06	0.0009	4.99
φ3	0.0018	9.92	0.0024	14.40	0.0007	11.12	0.00156	4.16	0.0039	8.48	0.0010	5.20
φ4	0.8129	6.18	0.1465	6.41	0.0250	2.59	0.789	7.13	0.4102	5.41	0.0928	3.04
φ5	7.00		7.00		11.00		18.00		11.00		11.00	
R2 aj	0.81		0.85		0.72		0.71		0.86		0.71	
Pará metros	Temuco - Puerto Montt						San Rosendo - Talcahuano					
	Carga 1	test t	Carga 2	test t	Pasajeros	test t	Carga 1	test t	Carga 2	test t	Pasa jeros	test t
φ0	0.7908	48.04	0.9544	75.13	0.6828	126.17	0.7438	64.24	0.9035	65.48	0.6855	191.03
φ1	0.0009	2.70	0.0014	5.07	0.0005	3.77	0.00025	1.86	0.0004	2.60	0.0001	2.80
φ2	0.0031	8.83	0.0025	9.07	0.0007	5.06	0.00211	21.56	0.0012	8.57	0.0004	9.58
φ3	0.0035	9.90	0.0046	16.47	0.0013	9.82	0.00211	21.56	0.0020	14.19	0.0005	11.36
φ4	0.1513	4.54	0.0734	3.09	0.0524	4.58	0.13880	5.21	0.3367	4.18	0.0578	6.84
φ5	9.00		9.00		7.00		17.00		12.00		8.00	
R2 aj	0.76		0.86		0.76		0.72		0.71		0.70	
Pará Metros	Concepción - Curanilahue											
	Carga 1	test t	Carga 2	test t	Pasajeros	test t						
φ0	0.8300	180.63	0.9738	163.80	0.6970	187.56						
φ1	0.0003	2.58	0.0004	2.47	0.0001	1.75						
φ2	0.0004	3.19	0.0010	6.40	0.0005	7.73						
φ3	0.0013	11.28	0.0012	7.57	0.0007	10.42						
φ4	0.3038	11.11	0.3518	11.09	0.1621	7.93						
φ5	6.00		7.00		9.00							
R2 aj	0.70		0.73		0.70							

Fuente: Análisis y Desarrollo Evaluación Sistema de Transporte Interurbano, XI Etapa, Sectra 2000

18 ANEXO D: Parámetros funciones de consumos energéticos

18.1 Función de consumo Trenes de Pasajeros

$$CE_{ij} = C_{ij} \cdot Tara_i + D_{ij} \cdot Tara_i \cdot Vel_{ij}$$

donde:

CE_{ij} : es el consumo energético del tren de pasajeros tipo i en el arco tipo j (KWH/tren-km)

$Tara_i$: es el peso del tren de pasajeros tipo i (ton)

Vel_{ij} : es la velocidad de circulación del tren de pasajeros tipo i en el arco tipo j (km/hr)

C_{ij}, D_{ij} : son parámetros de la función según el tipo de tren i y el tipo de arco j

Definición de tipologías de trenes

○ Tren 1: compuesto por locomotora y coches

▪ Locomotora (L)

Peso: 88 t

▪ Coche Súper Clase (SC)

Tara: 50 t

Cantidad de Asientos: 48 un

Peso de los pasajeros (60% ocupación) 2 t

▪ Coche Salón (S)

Tara: 50 t

Cantidad de Asientos: 80 un

Peso de los pasajeros (60% ocupación) 3,4 t

▪ Coche Comedor (Y)

Tara: 46,5 t

▪ Coche Transportador de Automóviles

Tara: 25 t

Carga: 15 t

○ Tren 2: automotor 3 cuerpos eléctrico (modelo referencia UT-444)

Peso: 172 t

- Tren 3: automotor 2 cuerpos diesel

Peso:

120 t

Parámetros Funciones para velocidades menores o igual a 90 km/hr

Tipo Arco	Tren 1: Loc+7 carros		Tren 2: Automotor 3 cuerpos eléctrico		Tren 3: Automotor de 2 cuerpos diesel	
	Peso	448	Peso	185	Peso	120
	Mantenimiento	0,2232 UF/tren-km	Mantenimiento	0,0436 UF/tren-km	Mantenimiento	0,04 UF/tren-km
	C	D	C	D	C	D
-13	0,006425201	-4,9411E-05	0,04446381	-0,00034236	0,00663643	-5,1762E-05
-12	0,006401838	-4,8853E-05	0,04446239	-0,00034233	0,00663622	-5,1761E-05
-11	0,006421415	-4,9376E-05	0,04446123	-0,00034232	0,00663686	-5,1778E-05
-10	0,006416154	-4,9312E-05	0,0444692	-0,00034253	0,00663613	-5,1759E-05
-9	0,006414884	-4,9308E-05	0,04447366	-0,00034264	0,00663007	-5,1704E-05
-8	0,006416387	-4,9333E-05	0,0444701	-0,00034254	0,00662364	-5,1635E-05
-7	0,006415831	-4,9306E-05	0,04423813	-0,00033674	0,00662365	-5,1631E-05
-6	0,005629245	-2,9628E-05	0,04236032	-0,0002898	0,00593524	-3,4417E-05
-5	0,00309936	3,3634E-05	0,03886319	-0,00020236	0,00367357	2,2129E-05
-4	0,000796799	0,00010691	0,03678577	-0,0001279	0,00181289	8,6452E-05
-3	0,001708609	0,00013757	0,03821056	-0,0001006	0,00295823	0,00011083
-2	0,00450852	0,00013767	0,04125704	-0,00010165	0,00562196	0,00010965
-1	0,00731364	0,00013766	0,04419044	-0,00010083	0,00828602	0,00010847
1	0,010343789	0,00013754	0,04740269	-0,00010059	0,01121738	0,0001154
2	0,013141341	0,00013775	0,05036632	-0,00010001	0,01401162	0,00011391
3	0,015959493	0,00013757	0,0532525	-9,8768E-05	0,01680609	0,00011274
4	0,0196335	0,00013748	0,05721434	-9,8931E-05	0,02046115	0,00011069
5	0,023951836	0,00013751	0,06181168	-9,874E-05	0,02477199	0,00010816
6	0,028278728	0,00013731	0,06652406	-0,00010021	0,02908706	0,00010583
7	0,032585173	0,0001373	0,07108345	-9,9765E-05	0,03333825	0,00010435
8	0,036846046	0,00013826	0,07563914	-9,8684E-05	0,03765598	0,0001012
9	0,041221743	0,00013643	0,08040462	-0,00010109	0,04204427	9,7244E-05
10	0,050845876	0,00011163	0,08947608	-9,9818E-05	0,05114581	8,055E-05
11	0,063057523	7,6415E-05	0,10091392	-9,8883E-05	0,06291897	5,0246E-05
12	0,074896412	5,0107E-05	0,11225402	-9,5158E-05	0,07473487	1,726E-05
13	0,091019422	2,5807E-05	0,12862812	-9,7763E-05	0,09086412	-1,7065E-05

Parámetros Funciones para velocidades mayores a 90 km/hr

Tipo Arco	Tren 1: Loc+7 carros		Tren 2: Automotor 3 cuerpos eléctrico		Tren 3: Automotor de 2 cuerpos diesel	
	Peso	448	Peso	185	Peso	120
	Mantenimiento	0,2232 UF/tren-km	Mantenimiento	0,0436 UF/tren-km	Mantenimiento	0,04 UF/tren-km
	C	D	C	D	C	D
-13	0,002100424	-1,3576E-06	0,02240251	-9,7239E-05	0,00209809	-1,3361E-06
-12	0,002177343	-1,9141E-06	0,02240755	-9,7275E-05	0,00209932	-1,3507E-06
-11	0,00210125	-1,3741E-06	0,02240463	-9,7248E-05	0,00209856	-1,3522E-06
-10	0,001740169	2,6431E-06	0,01861151	-5,5224E-05	0,0021022	-1,3816E-06
-9	-0,002563592	5,0453E-05	0,01067605	3,2886E-05	-0,00059638	2,859E-05
-8	-0,01111079	0,00014541	0,00237441	0,00012519	-0,00705723	0,00010037
-7	-0,020170517	0,0002461	-0,00512986	0,00021179	-0,01465809	0,00018483
-6	-0,026504621	0,00032742	-0,00686256	0,00025712	-0,01985263	0,00025211
-5	-0,026687073	0,00036459	-0,00293543	0,00026207	-0,01951891	0,00027982
-4	-0,023734792	0,00037949	0,00169725	0,00026197	-0,0161224	0,00028573
-3	-0,021178773	0,00039187	0,0055007	0,00026284	-0,01323087	0,00029071
-2	-0,019188342	0,00040097	0,00835804	0,0002639	-0,01102008	0,00029456
-1	-0,017239932	0,00041048	0,01138086	0,00026372	-0,00880332	0,00029835
1	-0,015351787	0,00042304	0,01460438	0,00026384	-0,00439376	0,00028885
2	-0,013305942	0,00043161	0,01764533	0,00026356	-0,0018769	0,00029045
3	-0,010368747	0,00043011	0,02063414	0,00026366	0,00059238	0,00029289
4	-0,006216207	0,0004247	0,02462092	0,00026322	0,00466272	0,00028623
5	-0,001163422	0,00041657	0,02922647	0,00026332	0,01021215	0,00026994
6	0,00518642	0,00039389	0,03373519	0,00026411	0,01571622	0,00025439
7	0,012147398	0,00036439	0,03830399	0,00026445	0,02109508	0,00024039
8	0,018884678	0,00033783	0,04301786	0,00026377	0,02609295	0,00022968
9	0,024967322	0,00031703	0,0474411	0,00026517	0,03096098	0,00022039
10	0,032831791	0,00031179	0,0565296	0,00026625	0,04014636	0,00020277
11	0,041135803	0,00031999	0,06800979	0,00026672	0,05132531	0,00017906
12	0,048911214	0,00033883	0,08144481	0,00024717	0,06133985	0,00016609
13	0,060063788	0,00036976	0,10291109	0,00018798	0,07536642	0,00015513

18.2 Función de consumo Trenes de Carga

Diesel Corto

Tara 400 ton

Carga 800 ton

Mantenimiento 0,05714 UF/tren-km

Tipo de Arco	A	B	C	D
-13	1,05E-08	-1,31E-10	7,68E-06	-6,41E-08
-12	1,05E-08	-1,31E-10	7,69E-06	-6,42E-08
-11	1,05E-08	-1,31E-10	7,64E-06	-6,36E-08
-10	1,05E-08	-1,31E-10	7,62E-06	-6,33E-08
-9	3,29E-07	-8,07E-09	6,99E-06	-4,76E-08
-8	1,51E-06	-3,75E-08	4,64E-06	1,12E-08
-7	3,22E-06	-8,04E-08	1,20E-06	9,72E-08
-6	4,53E-06	-1,18E-07	-1,44E-06	1,73E-07
-5	1,96E-06	-8,04E-08	-6,51E-07	2,06E-07
-4	-2,39E-06	7,12E-09	2,78E-06	2,06E-07
-3	-2,77E-06	4,02E-08	5,69E-06	2,07E-07
-2	-1,06E-06	4,06E-08	7,93E-06	2,07E-07
-1	6,46E-07	4,10E-08	1,02E-05	2,07E-07
1	3,17E-06	2,50E-08	1,25E-05	2,07E-07
2	5,94E-06	-4,84E-10	1,48E-05	2,07E-07
3	8,59E-06	-2,44E-08	1,71E-05	2,06E-07
4	1,19E-05	-5,04E-08	2,00E-05	2,07E-07
5	1,52E-05	-6,56E-08	2,40E-05	1,92E-07
6	1,79E-05	-6,60E-08	2,86E-05	1,63E-07
7	2,06E-05	-6,49E-08	3,30E-05	1,37E-07
8	2,28E-05	-5,72E-08	3,73E-05	1,14E-07
9	2,49E-05	-4,59E-08	4,17E-05	9,21E-08
10	2,95E-05	-3,01E-08	4,99E-05	6,04E-08
11	3,57E-05	-1,51E-08	5,96E-05	3,08E-08
12	4,26E-05	-7,16E-09	6,88E-05	1,43E-08
13	5,30E-05	-5,75E-10	8,14E-05	1,57E-09

Diesel Largo

Tara 800 ton
 Carga 1600 ton
 Mantenimiento 0,10756 UF/tren-km

Tipo de Arco	A	B	C	D
-13	5,23E-09	-6,54E-11	3,84E-06	-3,21E-08
-12	5,23E-09	-6,54E-11	3,84E-06	-3,21E-08
-11	5,23E-09	-6,54E-11	3,82E-06	-3,18E-08
-10	5,23E-09	-6,54E-11	3,81E-06	-3,17E-08
-9	1,65E-07	-4,04E-09	3,50E-06	-2,38E-08
-8	7,54E-07	-1,88E-08	2,32E-06	5,61E-09
-7	1,61E-06	-4,02E-08	6,02E-07	4,86E-08
-6	2,27E-06	-5,92E-08	-7,19E-07	8,66E-08
-5	9,82E-07	-4,02E-08	-3,26E-07	1,03E-07
-4	-1,19E-06	3,56E-09	1,39E-06	1,03E-07
-3	-1,38E-06	2,01E-08	2,85E-06	1,03E-07
-2	-5,28E-07	2,03E-08	3,96E-06	1,03E-07
-1	3,23E-07	2,05E-08	5,08E-06	1,03E-07
1	1,59E-06	1,25E-08	6,27E-06	1,04E-07
2	2,97E-06	-2,42E-10	7,39E-06	1,03E-07
3	4,30E-06	-1,22E-08	8,54E-06	1,03E-07
4	5,97E-06	-2,52E-08	9,98E-06	1,03E-07
5	7,61E-06	-3,28E-08	1,20E-05	9,62E-08
6	8,95E-06	-3,30E-08	1,43E-05	8,16E-08
7	1,03E-05	-3,25E-08	1,65E-05	6,87E-08
8	1,14E-05	-2,86E-08	1,87E-05	5,70E-08
9	1,24E-05	-2,30E-08	2,08E-05	4,61E-08
10	1,48E-05	-1,50E-08	2,49E-05	3,02E-08
11	1,79E-05	-7,57E-09	2,98E-05	1,54E-08
12	2,13E-05	-3,58E-09	3,44E-05	7,14E-09
13	2,65E-05	-2,88E-10	4,07E-05	7,86E-10

Eléctrico Corto

Tara	400 ton	
Carga	800 ton	
Mantenimiento	0,09748	UF/tren-km

Tipo de Arco	A	B	C	D
-13	-2,15E-08	2,64E-10	9,56E-06	-7,98E-08
-12	-2,15E-08	2,64E-10	9,56E-06	-7,98E-08
-11	-2,05E-08	2,56E-10	9,56E-06	-7,98E-08
-10	-2,72E-08	3,49E-10	9,57E-06	-7,99E-08
-9	1,92E-07	-5,16E-09	9,13E-06	-6,88E-08
-8	1,25E-06	-3,17E-08	7,00E-06	-1,57E-08
-7	2,93E-06	-7,37E-08	3,64E-06	6,84E-08
-6	4,37E-06	-1,12E-07	7,15E-07	1,47E-07
-5	2,03E-06	-7,75E-08	1,14E-06	1,84E-07
-4	-2,17E-06	6,54E-09	4,47E-06	1,84E-07
-3	-2,56E-06	3,82E-08	7,31E-06	1,84E-07
-2	-9,23E-07	3,82E-08	9,48E-06	1,85E-07
-1	6,87E-07	3,86E-08	1,17E-05	1,85E-07
1	2,60E-06	3,44E-08	1,40E-05	1,85E-07
2	4,31E-06	3,33E-08	1,62E-05	1,85E-07
3	5,78E-06	3,56E-08	1,84E-05	1,84E-07
4	7,96E-06	3,50E-08	2,12E-05	1,85E-07
5	1,05E-05	3,46E-08	2,45E-05	1,86E-07
6	1,31E-05	3,18E-08	2,79E-05	1,86E-07
7	1,62E-05	1,89E-08	3,12E-05	1,86E-07
8	1,95E-05	-1,63E-09	3,46E-05	1,86E-07
9	2,28E-05	-2,11E-08	3,79E-05	1,86E-07
10	2,90E-05	-4,93E-08	4,47E-05	1,86E-07
11	3,62E-05	-7,27E-08	5,31E-05	1,86E-07
12	4,28E-05	-8,05E-08	6,19E-05	1,76E-07
13	5,12E-05	-6,87E-08	7,52E-05	1,38E-07

Eléctrico Largo

Tara 800 ton

Carga 1600 ton

Mantenimiento 0,19495 UF/tren-km

Tipo de Arco	A	B	C	D
-13	-1,43E-08	1,76E-10	6,37E-06	-5,32E-08
-12	-1,43E-08	1,76E-10	6,37E-06	-5,32E-08
-11	-1,37E-08	1,71E-10	6,38E-06	-5,32E-08
-10	-1,82E-08	2,33E-10	6,38E-06	-5,32E-08
-9	1,28E-07	-3,44E-09	6,08E-06	-4,59E-08
-8	8,34E-07	-2,11E-08	4,67E-06	-1,05E-08
-7	1,95E-06	-4,91E-08	2,43E-06	4,56E-08
-6	2,91E-06	-7,49E-08	4,77E-07	9,80E-08
-5	1,35E-06	-5,17E-08	7,58E-07	1,23E-07
-4	-1,45E-06	4,36E-09	2,98E-06	1,23E-07
-3	-1,71E-06	2,54E-08	4,87E-06	1,23E-07
-2	-6,16E-07	2,55E-08	6,32E-06	1,23E-07
-1	4,58E-07	2,57E-08	7,77E-06	1,23E-07
1	1,74E-06	2,29E-08	9,33E-06	1,23E-07
2	2,87E-06	2,22E-08	1,08E-05	1,24E-07
3	3,85E-06	2,37E-08	1,23E-05	1,23E-07
4	5,31E-06	2,33E-08	1,41E-05	1,24E-07
5	7,01E-06	2,31E-08	1,64E-05	1,24E-07
6	8,77E-06	2,12E-08	1,86E-05	1,24E-07
7	1,08E-05	1,26E-08	2,08E-05	1,24E-07
8	1,30E-05	-1,09E-09	2,31E-05	1,24E-07
9	1,52E-05	-1,40E-08	2,53E-05	1,24E-07
10	1,94E-05	-3,29E-08	2,98E-05	1,24E-07
11	2,41E-05	-4,84E-08	3,54E-05	1,24E-07
12	2,86E-05	-5,37E-08	4,13E-05	1,18E-07
13	3,41E-05	-4,58E-08	5,02E-05	9,20E-08

19 ANEXO E: Análisis de Demanda

19.1 Requerimientos de información para la estimación de la demanda

19.1.1 Antecedentes demográficos

Para la determinación de información sobre población y vivienda a nivel comunal, regional y nacional, es necesario recurrir a las proyecciones generadas por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE). Los antecedentes de población para cada Censo de Población y vivienda se encuentran a muy distinto nivel de agregación, considerando información a nivel de: región, comuna, distrito censal, ciudad, pueblo, localidad y aldea. Esto permite contar con información de población para un nivel bastante detallado de zonificación.

El INE dispone de proyecciones del crecimiento de la población a nivel comunal, lo que permite contar con antecedentes de muy buena calidad para la proyección. En el caso de disponer de un mayor nivel de detalle en la zonificación, es posible proyectar de acuerdo con el crecimiento a nivel comunal de la población urbana y rural.

En el caso que la zonificación del estudio sea más detallada que las proyecciones del INE (las que son realizadas a nivel comunal), será posible proyectar la población asumiendo la distribución observada en la información a nivel de ciudades, pueblos, localidades y aldeas, manteniendo las tasas de crecimiento observadas por comuna.

19.1.2 Antecedentes socioeconómicos

El mejor antecedente para la caracterización socio-económica de las personas, a un muy buen nivel de detalle, corresponde a la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN). Esta encuesta entrega información acerca de las condiciones socioeconómicas de los diferentes sectores sociales del país, sus carencias más importantes, la incidencia, magnitud y características de la pobreza, así como la distribución del ingreso de los hogares y la composición de sus ingresos. Eso permite caracterizar la población por nivel de ingreso de los hogares, según sus condiciones habitacionales, educacionales, inserción al mercado del trabajo, composición de los ingresos familiares y otras variables relevantes.

Estos antecedentes de nivel de ingreso permiten caracterizar el área de estudio y entregan información relevante para la estimación de modelos de proyección de la demanda para el análisis y evaluación de proyectos de transporte ferroviario.

19.1.3 Antecedentes de equipamiento

Dentro de las variables que explican la atracción de viajes interurbanos se encuentra la oferta de comercio y servicios, también conocida como equipamiento. Si bien su impacto es menor que el de otras variables, es posible que la construcción de un nuevo hospital o el desarrollo de proyectos comerciales puedan explicar un número importante de viajes. De esta manera, la recolección de este tipo de antecedentes queda supeditada a aquellos casos en los que se detecte un importante centro atractor de viajes en el área de estudio. Para la recolección de esta información es posible recurrir a antecedentes del Servicio de Impuestos Internos, y a las estadísticas que poseen el Ministerio de Educación, Ministerio de Salud y los Servicios de Salud. De la misma manera, es posible recurrir a los resultados de la Encuesta Nacional Industrial, la

cual es realizada anualmente por el INE, que permite dar cuenta de la población ocupada según actividad.

19.1.4 Antecedentes oferta turística

La oferta turística resulta especialmente relevante para describir los viajes con propósito de turismo, los que constituyen una porción significativa de los viajes desarrollados en la época estival y también son importantes en el resto del año. En este sentido se deberá recopilar antecedentes sobre los principales lugares turísticos en el área de estudio, los que deberán ser clasificados en términos del tipo de turismo que él puede alojar: turismo masivo de playa, turismo de intereses especiales (arqueológicos, culturales, etc.) y otras clasificaciones que permita reconocer el turismo selectivo.

Complementariamente será necesario realizar una descripción del equipamiento turístico, reconociéndose que la explotación del recurso turístico pasa tanto por la jerarquía del atractivo como también por el equipamiento hotelero, servicios, etc. Si bien es posible generar indicadores cuantitativos de esta variable, se destaca que en la fase de modelación será necesario estudiar la conveniencia de su representación cuantitativa o cualitativa, de manera de compatibilizar el carácter cualitativo que se suele otorgar a la variable atractivo turístico.

Esta descripción será desarrollada a nivel comunal o de zona de estudio y orientada a reconocer cuando estos atractivos se encuentran fuera de la cabecera comunal, generando viajes que pueden estar estimados como viajes intrazonales en las encuestas origen-destino

A los fines de incorporar beneficios por visitas turísticas, se recomienda revisar la correspondiente metodología, publicada por el SNI.

19.1.5 Actividades productivas

El análisis de proyectos ferroviarios con una fuerte componente en el transporte de carga, requiere entender las principales características productivas del área de estudio, de manera tal de modelar la proyección de la carga. Como se ha expuesto anteriormente en este documento, los proyectos ferroviarios de carga surgen a requerimiento de una demanda existente o futura, la cual es conocida, así como su proyección futura. Sin embargo, dependiendo del tipo de proyecto y emplazamiento, resultará necesario modelar el resto de la demanda de carga en el área de estudio, tanto ferroviario como vial, para lo cual es necesario construir modelos de proyección que permitan simular la operación de toda la red multimodal, de manera tal de determinar los impactos totales del proyecto en estudio.

En términos generales el análisis de actividades productivas se orienta a determinar las toneladas movilizadas por modo de transporte en el área de estudio en la Situación Actual y determinar las posibles tendencias de crecimiento de las toneladas transportadas. Esto requiere de la comprensión de los procesos productivos y de las cadenas de comercialización de los principales productos involucrados. Esto puede ser obtenido a partir de las estadísticas productivas de cada empresa, estadísticas de organismos públicos y privados o encuestas productivas. Sin embargo, este análisis debe ser complementado a través de la realización de entrevistas a productores y despachadores de los productos principales identificados.

Independientemente de la diversidad de productos que pueden estar involucrados en el estudio de la demanda, se requiere de un análisis de cadenas productivas, comerciales y determinación de estadísticas productivas.

En este caso existen diversas fuentes que pueden ser empleadas en el análisis y que deben ser consultadas en función de los productos que son movilizados preferentemente en el área de estudio. A continuación se presenta un listado no exhaustivo de fuentes de información asociadas a la producción y consumo de productos.

- **Información estadística:** Información recopilada por organismos públicos y agrupaciones de productores, orientados a la caracterización del mercado productivo. Entre estos organismos se cuenta los siguientes:
 - ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias)
 - SAG (Servicio Agrícola y Ganadero)
 - INFOR (Instituto Forestal)
 - CORMA (Corporación de la Madera)
 - CONAF (Corporación Nacional Forestal)
 - SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería)
 - SONAMI (Sociedad Nacional de Minería)
 - ENAMI (Empresa Nacional de Minería)
 - COCHILCO (Corporación Chilena del Cobre)
 - FEDELECHE (Federación de Productores de Leche)
- **Encuestas Productivas:** Encuestas realizadas por organismos públicos y privados orientadas a caracterizar los sectores económicos.
 - Censo Nacional Agropecuario y Forestal: El último Censo que se encuentra disponible corresponde al año 2007 y considera recolección de información de uso de suelo y producciones a nivel nacional.
 - Encuesta Nacional Industrial (ENIA). Encuesta orientada a recopilar información sobre población empleada según actividad. La última encuesta disponible corresponde al año 2006.
- **Anuarios Productivos:** las grandes empresas generan reportes anuales sobre las actividades realizadas durante cada año, las que entregan antecedentes relevantes para la caracterización de cada mercado. Entre estas empresas destacan: CMPC, CAP, IANSA, CODELCO, entre otras.

19.2 Enfoques de estimación de demanda

Uno de los aspectos fundamentales en la evaluación de proyectos de infraestructura ferroviaria es la estimación de la demanda de carga y/o de pasajeros del proyecto. La profundidad con la que se realiza la estimación dependerá del nivel de análisis del estudio (perfil o prefactibilidad). Sin embargo, en todos los casos la metodología debe considerar la estimación de modelos de

demanda capaces de determinar los viajes producidos en el área de estudio y su relación con el sistema de transporte. De esta manera, es necesario construir modelos capaces de predecir cada una de las etapas del modelo clásico de transporte:

- Generación, atracción
- Distribución
- Partición Modal
- Asignación a la red

Estos modelos se retroalimentan a través de los costos de operación y variables de nivel de servicio en la red vial.

Los tipos de modelos que se construyen en cada etapa han sido largamente estudiados e incorporados en estudios a nivel nacional e internacional. De esta manera, en este apartado se indica el enfoque a emplear en la estimación de la demanda, señalando la tipología de modelos a estimar según cada tipo de proyecto y de la etapa en la que se esté desarrollando.

19.3 Estimación de Demanda en Proyectos Tipo I

Los proyectos Tipo I son aquellos cuyo impacto es relativamente menor sobre el sistema de transporte, es decir, que no producen efectos de consideración sobre la generación-atracción, distribución, partición modal y asignación. En este tipo de proyecto sólo se verán beneficiados por el mejoramiento aquellos usuarios actuales del sistema de transporte y los nuevos usuarios que crecen de manera vegetativa.

19.3.1 Etapa de perfil

19.3.1.1 Clasificación de la demanda

Considerando el bajo impacto que produce este tipo de proyectos y la necesidad de realizar un análisis a nivel de perfil, que entregue indicadores de rentabilidad en un plazo breve y con una cantidad limitada de recursos, se considera apropiado realizar un análisis agregado de la demanda, es decir, sin considerar segmentaciones por nivel socio-económico o propósito, en el caso de pasajeros y sin desagregar por tipo de productos, en el caso de la carga. De la misma manera, se considera adecuado un análisis a nivel anual, sin distinguir períodos de modelación.

19.3.1.2 Estimación de la demanda en la situación actual

Considerando que el proyecto no produce impactos a nivel de la partición modal, se considera que el análisis se centrará exclusivamente en la demanda actual del ferrocarril, por lo tanto no se consideran otros modos competitivos en el análisis.

La demanda actual será obtenida a partir de los registros de venta de pasajes de los servicios de pasajeros y de las matrices de demanda de carga entre estaciones de las empresas porteadoras que operan en el área de estudio.

19.3.1.3 Enfoque de estimación de modelos de proyección de la demanda

Si bien no se consideran impactos a nivel de la generación-atracción y distribución de viajes, es preciso realizar estimaciones del crecimiento que experimentará la demanda de pasajeros y/o de carga en el horizonte de análisis. Para estos efectos se considera la construcción de modelos

de series de tiempo que permitan relacionar el crecimiento histórico de la demanda con los antecedentes macro-económicos del crecimiento del país y del área de estudio. En particular los modelos deberán considerar como mínimo variables tales como el PIB, la población y el PIB per cápita.

19.3.1.4 Enfoque de modelación de la partición modal

En este caso la modelación no considera impactos sobre la partición modal, por lo que no se requiere la construcción de modelos de partición modal ni matrices modales para los modos competitivos.

19.3.1.5 Enfoque de modelación de la asignación de viajes

En este caso la modelación no considera impactos sobre la asignación de viajes. De esta manera, la estimación de costos de operación y tiempos de viajes se realiza a través de valores medios estándar según tecnología.

19.3.1.6 Fuentes de Información Consideradas

En etapa de perfil se considera que la totalidad de los análisis son realizados en base a datos históricos, sin necesidad de levantar información de terreno.

En este caso la información consultada será la siguiente:

- Estadísticas de Venta de Pasajes de Ferrocarriles
- Matrices de demanda de carga entre estaciones de las empresas porteadoras en el área de estudio.
- Variables macro-económicas y socio-económicas del área de estudio

19.3.2 Etapa de prefactibilidad

19.3.2.1 Clasificación de la demanda

En etapa de prefactibilidad, cuando se estima la existencia de estacionalidad en la demanda, se considera un análisis a nivel de períodos, que permite determinar de mejor manera los costos de operación y tiempos de viaje, en cada alternativa analizada, así como el diseño operacional de los servicios.

Para este tipo de proyectos, la construcción de matrices de viaje se utilizará para realizar proyecciones de demanda en forma más detallada y precisa. Luego, dependiendo de los antecedentes disponibles se recomienda clasificar la demanda de acuerdo con los siguientes criterios:

- Tipología de pasajero: es suficiente disponer de matrices origen destino globales sin segmentación de los usuarios.
- Tipología de carga: según sector de la economía (agrícola, forestal, minera, manufacturada). También puede considerarse una tipología en función de la importancia relativa del producto en el transporte ferroviario.

En el caso específico de la carga, el enfoque propuesto no requiere una gran desagregación de las tipologías de carga, salvo para caracterizar la demanda en el área de análisis (y por modo de transporte) y establecer sus proyecciones.

19.3.2.2 Estimación de la demanda en la situación actual

Considerando que el proyecto no produce impactos a nivel de la partición modal, se considera que el análisis se centrará exclusivamente en la demanda actual del ferrocarril, por lo tanto no se consideran otros modos competitivos en el análisis.

La demanda actual será obtenida a partir del levantamiento de encuestas origen-destino en el caso de pasajeros y entrevistas a despachadores y empresas porteadoras en el caso de la carga, las que serán complementadas con las estadísticas de venta de pasajes y carga movilizada de las empresas. Esta información permitirá construir matrices de viajes orientadas a caracterizar los desplazamientos, comprender el fenómeno y mejorar la estimación de la demanda de los proyectos.

19.3.2.3 Enfoque de estimación de modelos de proyección de la demanda

Para la proyección de la demanda se considera la estimación de modelos de series de tiempo en base a información histórica y simultáneamente se considera la calibración de modelos para la proyección de la generación y atracción de los viajes. En este caso las matrices son proyectadas considerando el balanceo de las matrices de viajes y las segmentaciones en la tipología de pasajeros y de carga definidas. De esta manera, se disponen dos métodos de estimación de matrices que permiten al analista validar la calidad de las predicciones.

19.3.2.4 Enfoque de modelación de la partición modal

En este caso la modelación no considera impactos sobre la partición modal, por lo que no se requiere la construcción de modelos para su estimación, ni matrices modales para los modos competitivos.

19.3.2.5 Enfoque de modelación de la asignación de viajes

En este caso la modelación no considera impactos sobre la asignación de viajes. De esta manera, la estimación de costos de operación y tiempos de viajes se realiza a través de valores medios estándar según tecnología, los cuales serán recomendados en virtud del análisis de costos ferroviarios de operación en la etapa siguiente del estudio.

19.3.2.6 Fuentes de Información Consideradas

En este caso la información consultada será la siguiente:

- Estadísticas de Venta de Pasajes de Ferrocarriles de pasajeros
- Matrices de carga entre estaciones empresas porteadoras de carga
- Variables macro-económicas y socio-económicas del área de estudio
- Variables socio-económicas a nivel de zonas en el área de estudio
- Levantamiento de encuestas origen-destino a usuarios de ferrocarril.
- Entrevistas con generadores de carga y empresas operadoras ferroviarias en el área de estudio

19.4 Estimación de Demanda en Proyectos Tipo II

Los proyectos del Tipo II poseen impactos a nivel de partición modal y eventualmente asignación, mientras que la demanda por transporte crece en forma vegetativa o permanece constante.

19.4.1 Etapa de perfil

19.4.1.1 Clasificación de la demanda

En este tipo de proyecto y etapa, se considera apropiado realizar una clasificación de la demanda según nivel socio-económico o propósito y según tipología de producto en el caso de transporte de carga. No obstante, la posibilidad de clasificar la demanda dependerá de la disponibilidad de información desagregada por tipología de usuario. Asimismo, el nivel de agregación a considerar dependerá de los modelos de demanda disponibles, en especial, los modelos de partición modal, en el caso de pasajeros. En tanto para el análisis del punto de vista temporal es adecuado un análisis a nivel anual, sin distinguir períodos de modelación.

19.4.1.2 Estimación de la demanda en la situación actual

Considerando el impacto a nivel de partición modal, se considera la construcción de matrices de viajes por modo de transporte, las que en etapa de perfil serán estimadas en base a datos existentes.

En el caso del transporte de pasajeros se deberá incorporar como mínimo los modos bus y ferrocarril. Se deberá incorporar el avión en caso que éste se encuentre disponible para algún par origen destino servido por el ferrocarril, siempre y cuando los niveles de servicio que otorga el proyecto al modo ferroviario se consideren competitivos con el transporte aéreo. Del mismo modo, el analista deberá decidir la consideración del automóvil como un modo competitivo. Si bien a priori parece que el automóvil debiera estar siempre disponible, en algunos casos los mejoramientos ferroviarios no entregan un nivel de servicio tal que permitan desviar demanda hacia el ferrocarril. Luego, puede resultar conveniente realizar el análisis sin incorporar este modo. De esta manera, la incorporación del automóvil dependerá de la importancia de este modo en los pares OD servidos y de los niveles de servicio que tendrá el ferrocarril en la Situación con Proyecto²³. Un caso particular se produce cuando el proyecto ferroviario considera el servicio de transporte de automóviles, lo cual obliga a la consideración de este modo.

En el caso del transporte de carga se deberá incorporar como mínimo los modos camión²⁴ y ferrocarril. Se deberá incorporar el cabotaje, en caso que se encuentre disponible alguna ruta de cabotaje en el área de estudio. También, en algunos casos especiales, el modo competitivo podría ser el mineroducto, oleoducto o gaseoducto.

²³ En general, la importancia del modo auto disminuye fuertemente con la distancia del viaje. Además, sobre todo en viajes largos, el uso del auto está condicionado por la necesidad de tenerlo disponible en el destino.

²⁴ Dadas las características del modo ferroviario, en cuanto a que sus ventajas se aprecian sobre ciertos niveles mínimos de embarque, típicamente el ferrocarril competirá con camiones de gran tamaño (remolques, semiremolques y eventualmente bi-trenes), luego no debería considerarse a los camiones pequeños (camiones simples) como modo competitivo.

Para la construcción de matrices del modo ferroviario es posible disponer de información de venta de pasajes entre estaciones de ferrocarril, en el caso de pasajeros, y las matrices de carga entre estaciones de las empresas porteadoras, en el caso de la carga. Esta información es de gran confiabilidad, sin embargo debe ser procesada para la construcción de matrices de acuerdo con el nivel de detalle planteado para el estudio. Se debe tener presente que esta información no presenta desagregación a nivel de tipologías de usuarios y origen-destino real de los viajes, por lo que la desagregación deberá ser realizada empleando antecedentes provenientes de estudios anteriores.

Para la construcción de matrices del modo aéreo se dispone de información de venta de pasajes entre aeropuertos del país, la que debe ser empleada, ya sea directamente en la generación de matrices, como en el ajuste de los modelos.

Si bien esta información es relativamente confiable, al igual que en el caso de los ferrocarriles, no presenta desagregación a nivel de tipologías de usuarios y origen-destino real de los viajes, por lo que la desagregación deberá ser realizada empleando antecedentes provenientes de estudios anteriores. En el caso de la carga, típicamente el transporte aéreo representa una proporción insignificante, por lo que puede desprejarse.

En el caso de matrices origen-destino de automóvil y buses, se considera la recopilación de matrices provenientes de estudios anteriores. En la eventualidad que no se disponga de matrices provenientes de estudios anteriores, se deberá construir matrices a partir de encuestas origen-destino, conteos de tránsito, mediciones de tasas de ocupación y modelos de transporte. Dado que se trata de la etapa de perfil, estas encuestas deberán centrarse en capturar principalmente los orígenes destino que serán servidos por el nuevo proyecto ferroviario.

Toda esta información de los distintos modos de transporte vial considerados debe ser compatibilizada de manera tal de obtener una matriz de viajes única para el área de estudio. Para estos efectos se deberá seguir las recomendaciones de la metodología de evaluación de proyectos viales interurbanos.

19.4.1.3 Enfoque de estimación de modelos de proyección de la demanda

A pesar que no se consideran impactos a nivel de la generación-atracción y distribución de viajes, es preciso realizar estimaciones del crecimiento que experimentará la demanda de pasajeros y carga en el horizonte de análisis. Para estos efectos se considera la construcción de modelos de series de tiempo que permitan relacionar el crecimiento histórico de la demanda por transporte con los antecedentes macro-económicos del crecimiento del país y del área de estudio.

A este respecto se debe notar que el proceso de proyección de la demanda requiere de conocer el crecimiento de los viajes de todos los modos competitivos. De esta manera, la complejidad consiste en construir una serie de tiempo del crecimiento de la demanda por tipo usuario o carga.

19.4.1.4 Enfoque de modelación de la partición modal

En el caso de pasajeros, la partición modal será analizada considerando modelos de elección discreta basados en la teoría de la utilidad aleatoria, que hayan sido construidos y calibrados en estudios anteriores en el área de estudio o para proyectos ferroviarios similares. Si la Situación

Base considera la existencia de un servicio ferroviario, se deberá realizar un análisis de validación del modelo o adaptación, a fin de ajustarse a la partición actual de la demanda. En el caso de que el proyecto considere la implantación de un nuevo servicio, el modelo se aplicará directamente. En caso de no disponer de un modelo de un estudio previo, se deberá considerar el juicio experto basado en los porcentajes de captación del ferrocarril en servicios similares que se encuentren en operación. Esto permitirá disponer de una primera estimación del impacto del proyecto sobre la partición modal.

Las variables típicas consideradas son las siguientes:

- Tiempo de viaje (min): tiempo de viaje de puerta a puerta.
- Frecuencia (1/min): Frecuencia promedio de salidas del servicio.
- Costo de transporte (\$): correspondiente al valor de la tarifa ponderada por el número de pasajeros, en el caso de transporte público, y correspondiente a la suma entre el valor del peaje y consumo de combustible, en el caso del automóvil.

En caso de proyectos de carga, se asume que en la situación con proyecto el ferrocarril transportará la totalidad de la carga para la cual fue diseñado, la cual puede estar condicionada por restricciones de capacidad del ferrocarril o decisiones estratégicas de los productores de mantener alguna proporción del transporte de su carga por camión u otro modo. Luego, no se requiere un modelo de partición modal propiamente tal.

19.4.1.5 Enfoque de modelación de la asignación de viajes

Tomando en cuenta el impacto a nivel de asignación de viajes, si se considera relevante, la modelación deberá considerar la construcción de un modelo simplificado que permita la determinación de costos de transporte a nivel de pares origen-destino para los servicios ferroviarios y, eventualmente, aéreos. Se debe notar que, al no existir en Chile una red ferroviaria conexas, la necesidad de este modelo es sólo para sistematizar el análisis, por lo que la modelación puede ser realizada empleando un paquete computacional especializado tanto como una planilla de cálculo.

De esta manera, la estimación de costos de operación y tiempos de viajes se realiza a través de valores medios estándar según tecnología, los cuales serán recomendados en virtud del análisis de costos ferroviarios de operación en la etapa siguiente del estudio.

En el caso del transporte por carretera, la asignación deberá ser realizada considerando las recomendaciones elaboradas por la metodología de evaluación social de proyectos de vialidad interurbana, para la modelación de proyectos en etapa de perfil.

19.4.1.6 Fuentes de Información Consideradas

En este caso la información consultada será la siguiente:

- Estadísticas de Venta de Pasajes de Ferrocarriles
- Matrices de carga entre estaciones empresas porteadoras ferroviarias
- Estadísticas de Venta de Pasajes Aéreos
- Variables macro-económicas y socio-económicas del área de estudio

- Variables socio-económicas a nivel de zonas en el área de estudio
- Modelo de partición modal estudio existente o antecedentes de partición modal de servicios ferroviarios en operación

19.4.2 Etapa de prefactibilidad

19.4.2.1 Clasificación de la demanda

En etapa de prefactibilidad se debe considerar un análisis a nivel de períodos, que permite determinar de mejor manera los costos de operación y tiempos de viaje, en cada alternativa analizada, así como el diseño operacional de los servicios.

De la misma manera, se debe considerar la clasificación de la demanda por tipología de usuario y según tipología de producto en el caso de transporte de carga. Dependiendo de los antecedentes disponibles se recomienda clasificar la demanda de acuerdo con los siguientes criterios:

- Tipología de pasajero
 - Estrato de ingreso (a lo más tres estratos) y estrato de usuarios cuyo viaje es pagado por el empleador
 - Propósito del viaje (trabajo, turismo y otros)
- Tipología de carga: según sector de la economía (agrícola, forestal, minera, manufacturada). También puede considerarse una tipología en función de la importancia relativa del producto en el transporte ferroviario.

Se debe notar que el número de clases o tipos de usuarios depende directamente de la cantidad y calidad de los datos disponibles. En este sentido, el analista debe privilegiar disponer de una muestra adecuada para la estimación de modelos de demanda, a pesar de perder calidad en la caracterización de los viajes.

19.4.2.2 Estimación de la demanda en la situación actual

Considerando el impacto a nivel de partición modal, se deben construir matrices de viajes por modo de transporte.

En el caso del transporte de pasajeros se deberá incorporar como mínimo los modos bus y ferrocarril. Se deberá incorporar el avión en caso que éste se encuentre disponible para algún par origen destino servido por el ferrocarril, siempre y cuando los niveles de servicio que otorga el proyecto al modo ferroviario se consideren competitivos con el transporte aéreo. Del mismo modo, el analista deberá decidir la consideración del automóvil como un modo competitivo. Si bien a priori parece que el automóvil debiera estar siempre disponible, en algunos casos los mejoramientos ferroviarios no entregan un nivel de servicio tal que permitan desviar demanda hacia el ferrocarril. Luego, puede resultar conveniente realizar el análisis sin incorporar este modo. De esta manera, la incorporación del automóvil dependerá de la importancia de este modo en los pares OD servidos y de los niveles de servicio que tendrá el ferrocarril en la

Situación con Proyecto²⁵. Un caso particular se produce cuando el proyecto ferroviario considera el servicio de transporte de automóviles, lo cual obliga a la consideración de este modo.

En el caso del transporte de carga se deberá incorporar como mínimo los modos camión²⁶ y ferrocarril. Se deberá incorporar el cabotaje, en caso que se encuentre disponible alguna ruta de cabotaje en el área de estudio. También, en algunos casos especiales, el modo competitivo podría ser el mineroducto, oleoducto o gaseoducto.

Para la determinación de las matrices, se debe llevar a cabo un levantamiento de encuestas origen-destino y entrevistas a despachadores, de manera tal de construir matrices de viajes de pasajeros y carga. Esta información se complementará con la información pre-existente de diversas fuentes de información.

En el caso del transporte caminero la estimación de matrices será realizada en base a los criterios vertidos en la metodología de evaluación de proyectos viales interurbanos, a nivel de estudios de prefactibilidad.

19.4.2.3 Enfoque de estimación de modelos de proyección de la demanda

Para la proyección de la demanda se considera la estimación de modelos de series de tiempo en base a información histórica. Simultáneamente se considera la calibración de modelos para la proyección de la generación y atracción de los viajes. En este caso la proyección se realiza considerando el balanceo de las matrices de viajes y las segmentaciones en la tipología de pasajeros y de carga definidas. De esta manera, se dispone de dos métodos de proyección que permiten al analista validar la calidad de las predicciones.

19.4.2.4 Enfoque de modelación de la partición modal

La partición modal de pasajeros será analizada empleando modelos de elección discreta, estimados en base a datos mixtos de preferencias reveladas y declaradas, las que serán levantadas especialmente para el estudio. Los modelos deberán ser ajustados al comportamiento agregado observado en las matrices estimadas.

En el caso de proyectos de carga, se asume que en la situación con proyecto el ferrocarril transportará la totalidad de la carga para la cual fue diseñado, la cual puede estar condicionada por restricciones de capacidad del ferrocarril o decisiones estratégicas de los productores de mantener alguna proporción del transporte de su carga por camión u otro modo. Luego, no se requiere un modelo de partición modal propiamente tal.

19.4.2.5 Enfoque de modelación de la asignación de viajes

En este caso se considera la construcción de un modelo de asignación que permita el análisis de la asignación de viajes. En el caso del transporte por carretera, la asignación será realizada

²⁵ En general, la importancia del modo auto disminuye fuertemente con la distancia del viaje. Además, sobre todo en viajes largos, el uso del auto está condicionado por la necesidad de tenerlo disponible en el destino.

²⁶ Dadas las características del modo ferroviario, en cuanto a que sus ventajas se aprecian sobre ciertos niveles mínimos de embarque, típicamente el ferrocarril competirá con camiones de gran tamaño (remolques, semiremolques y eventualmente bi-trenes), luego no debería considerarse a los camiones pequeños (camiones simples) como modo competitivo.

considerando las recomendaciones elaboradas por la metodología de evaluación social de proyectos de vialidad interurbana.

Considerando la profundidad del análisis, se considera apropiada la aplicación del modelo OperaTren para la determinación de costos de operación y tiempos de viaje para los servicios ferroviarios en estudio. Para el resto de los servicios ferroviarios, los costos de operación y tiempos de viaje pueden estimarse a través de funciones analíticas implementadas en el modelo de asignación.

En este tipo de proyectos es posible que se necesite determinar un equilibrio entre la oferta de transporte ferroviario y la demanda por este modo. En este caso se propone considerar que la oferta funciona como una restricción activa a la demanda, la que debe ser validada por el analista.

19.4.2.6 Fuentes de Información Consideradas

En este caso la información consultada será la siguiente:

- Estadísticas de Venta de Pasajes de Ferrocarriles
- Matrices de carga entre estaciones empresas porteadoras ferroviarias
- Estadísticas de Venta de Pasajes Aéreos
- Variables macro-económicas
- Variables socio-económicas a nivel de zonas en el área de estudio
- Levantamiento de encuestas origen-destino a usuarios de ferrocarril, automóvil, bus y avión, según la definición de modos competitivos considerada.
- Entrevistas a despachadores de carga

19.5 Estimación de Demanda en Proyectos Tipo III

Los proyectos del Tipo III poseen impactos en todas las etapas del modelo clásico de transporte, es decir a nivel de generación, atracción, distribución, partición modal y asignación. Sin embargo, no se considerará explícitamente cambios en el uso de suelo producto de la implementación del proyecto ferroviario.

19.5.1 Etapa de Perfil

19.5.1.1 Clasificación de la demanda

En este tipo de proyecto y etapa, se considera apropiado realizar una clasificación de la demanda según nivel socio-económico o propósito y según tipología de producto en el caso de transporte de carga. No obstante, la posibilidad de clasificar la demanda dependerá de la disponibilidad de información desagregada por tipología de usuario. En tanto para el análisis del punto de vista temporal parece adecuado un análisis a nivel anual, sin distinguir períodos de modelación.

19.5.1.2 Estimación de la demanda en la situación actual

Considerando el impacto a nivel de partición modal, se considera la construcción de matrices de viajes por modo de transporte, las que en etapa de perfil serán estimadas en base a datos existentes.

En el caso del transporte de pasajeros se deberá incorporar como mínimo los modos bus y ferrocarril. Se deberá incorporar el avión en caso que éste se encuentre disponible para algún par origen destino servido por el ferrocarril, siempre y cuando los niveles de servicio que otorga el proyecto al modo ferroviario se consideren competitivos con el transporte aéreo. Del mismo modo, el analista deberá decidir la consideración del automóvil como un modo competitivo. Si bien a priori parece que el automóvil debiera estar siempre disponible, en algunos casos los mejoramientos ferroviarios no entregan un nivel de servicio tal que permitan desviar demanda hacia el ferrocarril. Luego, puede resultar conveniente realizar el análisis sin incorporar este modo. De esta manera, la incorporación del automóvil dependerá de la importancia de este modo en los pares OD servidos y de los niveles de servicio que tendrá el ferrocarril en la Situación con Proyecto²⁷. Un caso particular se produce cuando el proyecto ferroviario considera el servicio de transporte de automóviles, lo cual obliga a la consideración de este modo.

En el caso del transporte de carga se deberá incorporar como mínimo los modos camión²⁸ y ferrocarril. Se deberá incorporar el cabotaje, en caso que éste se encuentre disponible alguna ruta de cabotaje en el área de estudio. También, en algunos casos especiales, el modo competitivo podría ser el mineroducto, oleoducto o gaseoducto.

Para la construcción de matrices del modo ferroviario es posible disponer de información de venta de pasajes entre estaciones de ferrocarril, en el caso de pasajeros, y las matrices de carga entre estaciones de las empresas porteadoras, en el caso de la carga. Esta información es de gran confiabilidad, sin embargo debe ser procesada para la construcción de matrices de acuerdo con el nivel de detalle planteado para el estudio. Se debe tener presente que esta información no presenta desagregación a nivel de tipologías de usuarios y origen-destino real de los viajes, por lo que la desagregación deberá ser realizada empleando antecedentes provenientes de estudios anteriores.

Para la construcción de matrices del modo aéreo se dispone de información mensual de venta de pasajes entre aeropuertos del país, la que debe ser empleada ya sea directamente en la generación de matrices, como en el ajuste de los modelos.

Si bien esta información es relativamente confiable, al igual que en el caso de los ferrocarriles, no presenta desagregación a nivel de tipologías de usuarios y origen-destino real de los viajes. Por ello, la desagregación deberá ser realizada empleando antecedentes provenientes de estudios

²⁷ En general, la importancia del modo auto disminuye fuertemente con la distancia del viaje. Además, sobre todo en viajes largos, el uso del auto está condicionado por la necesidad de tenerlo disponible en el destino.

²⁸ Dadas las características del modo ferroviario, en cuanto a que sus ventajas se aprecian sobre ciertos niveles mínimos de embarque, típicamente el ferrocarril competirá con camiones de gran tamaño (remolques, semiremolques y eventualmente bi-trenes), luego no debería considerarse a los camiones pequeños (camiones simples) como modo competitivo.

anteriores. En el caso de la carga, típicamente el transporte aéreo representa una proporción insignificante, por lo que puede despreciarse.

En el caso de matrices origen-destino de automóvil y buses, se considera la recopilación de matrices provenientes de estudios anteriores. En la eventualidad que no se disponga de matrices provenientes de estudios anteriores, se deberá construir matrices a partir de encuestas origen-destino, conteos de tránsito, mediciones de tasas de ocupación y modelos de transporte. Dado que se trata de la etapa de perfil, estas encuestas deberán centrarse en capturar principalmente los orígenes destino que serán servidos por el nuevo proyecto ferroviario.

Toda esta información de los distintos modos de transporte vial considerados debe ser compatibilizada de manera tal de obtener una matriz de viajes única para el área de estudio. Para estos efectos se deberá seguir las recomendaciones de la metodología de evaluación de proyectos viales interurbanos.

19.5.1.3 Enfoque de estimación de modelos de proyección de la demanda

El análisis del impacto sobre la generación-atracción y distribución de viajes a nivel de perfil, se realizará empleando modelos de distribución de viajes o elasticidades de la demanda frente a los costos de transporte obtenidas en estudios anteriores. En caso de no disponer de un modelo de un estudio previo, se deberá considerar el juicio experto basado en antecedentes existentes. Esto permitirá disponer de una primera estimación del impacto del proyecto sobre la generación-atracción y distribución de viajes.

19.5.1.4 Enfoque de modelación de la partición modal

En el caso de pasajeros, la partición modal será analizada considerando modelos de elección discreta, basados en la teoría de la utilidad aleatoria, que hayan sido construidos y calibrados en estudios anteriores en el área de estudio o para proyectos ferroviarios similares. Si la Situación Base considera la existencia de un servicio ferroviario, se deberá realizar un análisis de validación del modelo o adaptación, a fin de ajustarse a la partición actual de la demanda. En el caso de que el proyecto considere la implantación de un nuevo servicio, el modelo se aplicará directamente. En caso de no disponer de un modelo de un estudio previo, se deberá considerar el juicio experto basado en los porcentajes de captación del ferrocarril en servicios similares que se encuentren en operación. Esto permitirá disponer de una primera estimación del impacto del proyecto sobre la partición modal en el área de estudio.

Las variables típicas consideradas son las siguientes:

- Tiempo de viaje (min): tiempo de viaje de puerta a puerta.
- Frecuencia (1/min): Frecuencia promedio de salidas del servicio.
- Costo de transporte (\$): correspondiente al valor de la tarifa ponderada por el número de pasajeros, en el caso de transporte público, y correspondiente a la suma entre el valor del peaje y consumo de combustible, en el caso del automóvil.

En caso de proyectos de carga, se asume que en la situación con proyecto el ferrocarril transportará la totalidad de la carga para la cual fue diseñado, la cual puede estar condicionada por restricciones de capacidad del ferrocarril o decisiones estratégicas de los productores de

mantener alguna proporción del transporte de su carga por camión u otro modo. Luego, no se requiere un modelo de partición modal propiamente tal.

19.5.1.5 Enfoque de modelación de la asignación de viajes

Tomando en cuenta el impacto a nivel de asignación de viajes, la modelación deberá considerar la construcción de un modelo simplificado que permita la determinación de costos de transporte a nivel de pares origen-destino para los servicios ferroviarios y, eventualmente, aéreos. Se debe notar que, al no existir en Chile una red ferroviaria conexas, la necesidad de este modelo es sólo para sistematizar el análisis, por lo que la modelación puede ser realizada empleando un paquete computacional especializado tanto como una planilla de cálculo.

En el caso del transporte por carretera, la asignación deberá ser realizada considerando las recomendaciones elaboradas por la metodología de evaluación social de proyectos de vialidad interurbana, para la modelación de proyectos en etapa de perfil.

19.5.1.6 Fuentes de Información Consideradas

En este caso la información consultada será la siguiente:

- Estadísticas de Venta de Pasajes de Ferrocarriles
- Matrices de carga entre estaciones empresas porteadoras ferroviarias
- Estadísticas de Venta de Pasajes Aéreos
- Variables macro-económicas y socio-económicas del área de estudio
- Variables socio-económicas a nivel de zonas en el área de estudio
- Modelo de partición modal estudio existente o antecedentes de partición modal de servicios ferroviarios en operación

19.5.2 Etapa de Prefactibilidad

19.5.2.1 Clasificación de la demanda

En etapa de prefactibilidad se considera un análisis a nivel de períodos, que permite determinar de mejor manera los costos de operación y tiempos de viaje, en cada alternativa analizada, así como el diseño operacional de los servicios.

De la misma manera, se considera la clasificación de la demanda por tipología de usuario. Dependiendo de los antecedentes disponibles se recomienda clasificar la demanda de acuerdo con los siguientes criterios:

- Tipología de pasajero
 - Estrato de ingreso (a lo más tres estratos) y estrato de usuarios cuyo viaje es pagado por el empleador
 - Propósito del viaje (trabajo, turismo y otros).
- Tipología de carga: según sector de la economía (agrícola, forestal, minera, manufacturada). También puede considerarse una tipología en función de la importancia relativa del producto en el transporte ferroviario.

Se debe notar que el número de clases o tipos de usuarios depende directamente la cantidad y calidad de los datos disponibles. En este sentido, el analista debe privilegiar disponer de una muestra adecuada para la estimación de modelos de demanda, a pesar de perder calidad en la caracterización de los viajes.

19.5.2.2 Estimación de la demanda en la situación actual

Considerando el impacto a nivel de generación-atracción, distribución y partición modal, se deben construir matrices de viajes por modo de transporte.

En el caso del transporte de pasajeros se deberá incorporar como mínimo los modos bus y ferrocarril. Se deberá incorporar el avión en caso que éste se encuentre disponible para algún par origen destino servido por el ferrocarril, siempre y cuando los niveles de servicio que otorga el proyecto al modo ferroviario se consideren competitivos con el transporte aéreo. Del mismo modo, el analista deberá decidir la consideración del automóvil como un modo competitivo. Si bien a priori parece que el automóvil debiera estar siempre disponible, en algunos casos los mejoramientos ferroviarios no entregan un nivel de servicio tal que permitan desviar demanda hacia el ferrocarril. De esta manera, puede resultar conveniente realizar el análisis sin incorporar este modo. De esta manera, la incorporación del automóvil dependerá de la importancia de este modo en los pares OD servidos y de los niveles de servicio que tendrá el ferrocarril en la Situación con Proyecto²⁹. Un caso particular se produce cuando el proyecto ferroviario considera el servicio de transporte de automóviles, lo cual obliga a la consideración de este modo.

En el caso del transporte de carga se deberá incorporar como mínimo los modos camión³⁰ y ferrocarril. Se deberá incorporar el cabotaje, en caso que se encuentre disponible alguna ruta de cabotaje en el área de estudio. También, en algunos casos especiales, el modo competitivo podría ser el mineroducto, oleoducto o gaseoducto.

Para la determinación de las matrices, se debe llevar a cabo un levantamiento de encuestas origen-destino y entrevistas a despachadores, de manera tal de construir matrices de viajes de pasajeros y carga. Esta información se complementará con la información pre-existente de diversas fuentes de información.

En el caso del transporte caminero la estimación de matrices será realizada en base a los criterios vertidos en la metodología de evaluación de proyectos viales interurbanos, a nivel de estudios de prefactibilidad.

19.5.2.3 Enfoque de estimación de modelos de proyección de la demanda

Para la proyección de la demanda se considera la estimación de modelos de series de tiempo en base a información histórica. Adicionalmente, se considera la estimación de modelos de demanda directa o conocidos como modelos generación/atracción y distribución conjunta para la estimación de demanda de pasajeros, los que permiten determinar modelos de predicción de

²⁹ En general, la importancia del modo auto disminuye fuertemente con la distancia del viaje. Además, sobre todo en viajes largos, el uso del auto está condicionado por la necesidad de tenerlo disponible en el destino.

³⁰ Dadas las características del modo ferroviario, en cuanto a que sus ventajas se aprecian sobre ciertos niveles mínimos de embarque, típicamente el ferrocarril competirá con camiones de gran tamaño (remolques, semiremolques y eventualmente bi-trenes), luego no debería considerarse a los camiones pequeños (camiones simples) como modo competitivo.

demanda que reconocen el impacto en la generación de viajes producto de la disminución de costos en la red.

En el transporte de carga se propone la estimación de modelos de generación y atracción, los que son corregidos en base a entrevistas a empresas productivas. Adicionalmente, se estiman modelos de distribución doblemente acotados para la estimación de la distribución de viajes.

Se debe notar que en el caso de pasajeros, se recomienda la estimación de modelos de demanda directa al disponer de matrices de viajes provenientes de encuestas a bordo de los vehículos, donde no se tiene información completa del total de viajes generados y atraídos por cada zona. Otra ventaja de la utilización de modelos de demanda directa es que permiten determinar el aumento en la demanda producto de una disminución de costos, sin necesidad de acotar la cantidad de viajes que se generan o atraen en el área de estudio, tal como lo hacen los modelos acotados. Al igual que en los casos anteriores, la utilización de modelos de series de tiempo permite contrastar la estimación de demanda y permite al analista validar la calidad de las predicciones.

19.5.2.4 Enfoque de modelación de la partición modal

La partición modal de pasajeros será analizada empleando modelos de elección discreta, estimados en base a datos mixtos de preferencias reveladas y declaradas, las que serán levantadas especialmente para el estudio. Los modelos deberán ser ajustados al comportamiento agregado observado en las matrices estimadas.

En caso de proyectos de carga, se asume que en la situación con proyecto el ferrocarril transportará la totalidad de la carga para la cual fue diseñado, la cual puede estar condicionada por restricciones de capacidad del ferrocarril o decisiones estratégicas de los productores de mantener alguna proporción del transporte de su carga por camión u otro modo. Luego, no se requiere un modelo de partición modal propiamente tal.

19.5.2.5 Enfoque de modelación de la asignación de viajes

En este caso se considera la construcción de un modelo de asignación de viajes. En el caso del transporte por carretera, la asignación será realizada considerando las recomendaciones elaboradas por la metodología de evaluación social de proyectos de vialidad interurbana.

Considerando la profundidad del análisis, se considera apropiada la aplicación del modelo OperaTren para la determinación de costos de operación y tiempos de viaje para los servicios ferroviarios en estudio. Para el resto de los servicios ferroviarios, los costos de operación y tiempos de viaje pueden estimarse a través de funciones analíticas implementadas en el modelo de asignación.

En este tipo de proyectos es posible que se necesite determinar un equilibrio entre la oferta de transporte ferroviario y la demanda por este modo. En este caso se propone considerar que la oferta funciona como una restricción activa a la demanda, la que debe ser validada por el analista.

19.5.2.6 Fuentes de Información Consideradas

En este caso la información consultada será la siguiente:

- Estadísticas de Venta de Pasajes de Ferrocarriles

- Matrices de carga entre estaciones empresas porteadoras ferroviarias
- Estadísticas de Venta de Pasajes Aéreos
- Variables macro-económicas
- Variables socio-económicas a nivel de zonas en el área de estudio
- Levantamiento de encuestas origen-destino a usuarios de ferrocarril, automóvil, bus y avión, según la definición de modos competitivos considerada.
- Entrevistas a despachadores de carga

19.6 Resumen Enfoques de Estimación

Considerando las distintas actividades recomendadas en el marco de la estimación de la demanda por transporte ferroviario de carga y pasajeros, se ha realizado un cuadro resumen que permite sintetizar las tareas involucradas en la estimación de demanda, según el tipo de proyecto y la etapa de estudio o análisis en la cual se encuentra. Este cuadro resumen se presenta en la figura siguiente.

Figura 19-1 Cuadro Resumen de Enfoques de Estimación Según Tipología de Proyecto y Etapa de Análisis

	Tipo I		Tipo II		Tipo III	
	Perfil	Prefact.	Perfil	Prefact.	Perfil	Prefact.
ESTIMACIÓN DDA. PASAJEROS						
Clasificación de la demanda	-	-	Π	Π	Π	Π
Periodización	-	Π	-	Π	-	Π
Modos competitivos	Solo ferrocarril	Solo ferrocarril	Modelador	Modelador	Modelador	Modelador
Construcción de matrices de pasajeros	-	Π	Datos históricos	Encuestas	Datos históricos	Encuestas
Determinación de modelos de proyección de demanda (series de tiempo)	Π	Π	Π	Π	Π	Π
Determinación de modelos de generación y atracción de viajes	-	Π	-	Π	-	-
Determinación de modelos de generación/atraccción-distribución conjunta	-	-	-	-	-	Π
Determinación de modelos de partición modal	-	-	Modelos Tipo	Estimación Modelos	Modelos Tipo	Estimación Modelos
ESTIMACIÓN DEMANDA CARGA						
Clasificación tipología de carga	-	Π	Π	Π	Π	Π
Modos competitivos	Solo ferrocarril	Solo ferrocarril	Modelador	Modelador	Modelador	Modelador
Construcción de matrices de carga	-	Π	Datos históricos	Encuestas/ Entrevistas	Datos históricos	Encuestas/ Entrevistas
Determinación de modelos de proyección de demanda	Series de tiempo	Series de tiempo/ Entrevistas	Series de tiempo	Modelos de demanda	Series de tiempo	Modelos de demanda
Determinación de modelos de generación y atracción de viajes	-	-	-	Π	-	Π
Determinación de modelos de distribución de viajes	-	-	-	-	-	Π
Análisis de partición modal	-	-	Enfoque Todo o Nada	Enfoque Todo o Nada	Enfoque Todo o Nada	Enfoque Todo o Nada
FUENTES DE INFORMACION						
Serie histórica tránsito	Π	Π	Π	Π	Π	Π
Serie histórica matrices de viajes	Π	Π	Π	Π	Π	Π
Variables socio-económicos	-	Π	-	Π	-	Π
Encuestas Origen-Destino	-	Π	-	Π	-	Π
Encuestas de preferencias	-	-	-	Π	-	Π
Realización de entrevistas (carga)	-	Π	Π	Π	Π	Π
Modelos de Asignación						
Construcción de modelo multimodal	-	-	Π	Π	Π	Π
Modelo de costos de operación	Costos medios estándar	Costos medios estándar	Costos medios estándar	OperaTren	Costos medios estándar	OperaTren
Interacción Oferta-Demanda						
	-	-	-	Restricción capacidad	-	Restricción capacidad

19.7 Antecedentes de demanda existentes

19.7.1 Información de Conteos de Tránsito

La modelación de la demanda por transporte caminero requiere disponer de antecedentes de tránsito existentes a distintos niveles de agregación. El análisis de la periodización y de su expansión anual requiere disponer de información de flujos continuos a lo largo del año, desagregada a nivel diario u horario.

Por otra parte, para caracterizar los niveles de tránsito en la red, en forma complementaria a la realización de mediciones, es posible recurrir a antecedentes más agregados tales como tránsito medio diario mensual, por temporada o a nivel anual.

Necesariamente para estos análisis se deberá contar con información existente de flujos. En este sentido la información de Plazas de Peaje e Instrumentos Contadores de flujo de la Dirección de Vialidad, representan típicamente la mejor información disponible. Es importante considerar en la selección de los puntos con información, que los flujos ahí captados correspondan principalmente a viajes interurbanos (larga distancia). En este sentido debe privilegiarse la información de plazas de peaje troncales e instrumentos contadores alejados de accesos a centros poblados importantes.

19.7.2 Matrices Origen Destino

Se deberá recopilar la información de matrices origen destino que se encuentren disponibles para el área de influencia del estudio. En los estudios a nivel de perfil, ésta constituirá, típicamente, la única fuente de información O-D con la que se trabajará, pudiendo considerarse procesos de actualización en base a conteos de tránsito existente. En el caso de los estudios de prefactibilidad, la información existente deberá ser complementada con estudios de tránsito propios (encuestas O-D, conteos).

Dependiendo del tipo de estudio que se trate será el alcance de la información a recopilar.

- En los proyectos del Tipo I, ésta estará limitada a la demanda actual del ferrocarril en el sector en estudio (o servicio ferroviario estudiado) y sus proyecciones futuras, ya que en este tipo de estudio no se considera impactos en la partición modal.
- En el caso de los proyectos Tipo II y III, el análisis requerido es multimodal, por lo que es necesario recopilar los antecedentes de demanda que se encuentran disponibles, tanto para el ferrocarril como para todos los modos de transporte competitivos que sean considerados.

Típicamente, la información de matrices de viaje existentes provendrá de las siguientes fuentes:

- Estudios de transporte previos en el área de estudio
- Modelos estratégicos interurbanos disponibles
- Encuestas Origen Destino de la Dirección de Vialidad
- Matrices de venta de pasajes de servicios ferroviarios de pasajeros (el origen y destino en estas matrices está representado por las estaciones ferroviarias)

- Matrices de carga ferroviaria de las empresas porteadoras (el origen y destino en estas matrices está representado por las estaciones ferroviarias)
- Matrices de viajes aéreos de la Junta Aeronáutica Civil, JAC (el origen y destino en estas matrices está representado por los aeropuertos nacionales)

19.8 Estudios de tránsito y encuestas

En el caso de estudios a nivel de perfil, en general, el análisis de la demanda se desarrollará a partir de información existente. En el caso de los estudios a nivel de prefactibilidad, la construcción de matrices de viajes modales requiere del levantamiento de información de tránsito y encuestas que permita complementar las fuentes de información disponibles, mejorar la precisión en la caracterización de la situación actual del sistema de transporte y para la construcción y calibración de modelos de demanda y de redes.

Lo anterior implica la necesidad que la metodología de proyectos ferroviarios contemple los aspectos relevantes en el proceso de levantamiento de información de tránsito. A continuación se destacan las mediciones que deben ser contempladas por la metodología.

19.8.1 Conteos de Flujo

La necesidad de conteos periódicos dependerá del tipo de proyecto que se trate y de la etapa de análisis. En general, se requerirá de información de flujos vehiculares cuando se requiere un análisis multimodal. Estos conteos se requieren para caracterizar la demanda vial, ya sea para expandir encuestas OD como para ajuste de matrices a priori a conteos en arcos de la red.

Los conteos de flujo en carreteras deben realizarse a partir de los métodos usuales, es decir, conteos por tipo de vehículo en períodos de 15 minutos, para todas las horas de medición definidas según lo establecido en la metodología.

La tipología de vehículos será la usual en este tipo de mediciones, considerando como mínimo:

- Autos
- Camionetas y jeeps
- Camiones de dos ejes
- Camiones de más de dos ejes
- Buses

En el caso de los modos de transporte público (tren, bus, avión), los conteos de pasajeros son requeridos sólo para la expansión de encuestas OD.

19.8.2 Encuestas Origen-Destino

Para el análisis de demanda se requiere conocer en detalle el mercado objetivo en cual se inserta el proyecto ferroviario y sobre el cual se considere existirán impactos. Para estos efectos es preciso realizar un plan de encuestas con la finalidad de capturar todos estos tipos de viajes que se desarrollan en el área de estudio, así como la segmentación de la demanda.

A este respecto se requiere la definición de los criterios fundamentales para la realización de encuestas origen-destino a usuarios de transporte público, transporte privado y transporte de

carga. En todos los casos será necesario definir los tamaños muestrales mínimos y asociados a cada tipología de proyectos, así como los períodos de medición considerados.

Para los proyectos Tipo I sólo se requerirá información origen destino para el modo ferroviario, básicamente para servir de base a las proyecciones de la demanda, mientras que para los proyectos Tipo II y III se requerirá además realizar encuestas en todos los modos competitivos.

Será decisión del analista el establecimiento de los modos competitivos en cada caso. Esta decisión debe basarse en el impacto previsible en la partición modal. Un primer aspecto a considerar será la identificación de otros modos que dan servicio a parte o todos los pares origen destino que serán servidos por el proyecto ferroviario. Estos modos pueden ser puros o combinados. Por otra parte, aún si fuera posible realizar el viaje en cierto modo o combinación de modos, la participación de dicho modo (puro o combinado) debe ser relevante en la situación sin proyecto para ser considerado, ya que si su aporte a la demanda del proyecto no es significativa, puede despreciarse. Normalmente, la decisión de cuales modos considerar en el análisis es tomada en las primeras etapas del estudio y sólo con información pre existente, por lo que debe primar el buen criterio y la experiencia del analista. A modo de ejemplo, si bien típicamente los modos bus y auto están siempre disponibles, existen ocasiones en que la demanda de pasajeros en auto puede ser muy poco relevante, por ejemplo, en viajes muy largos, en cuyo caso el tren compite principalmente con el bus y eventualmente el avión.

La encuesta puede considerar una cobertura parcial o total del área modelada, en función de la calidad y cantidad de información existente de que se disponga. Se entiende por cobertura parcial el caso en que se disponga de buena información que caracterice la demanda O-D en el área de estudio y ésta pueda ser actualizada en buena forma a partir de conteos de tráfico. De esta manera, se podrá concentrar los esfuerzos y recursos a la realización de encuestas en lugares donde preferentemente circulan los pares OD que podrían ser captados por el proyecto ferroviario.

A partir de la información obtenida en la encuesta y conteos de flujo se puede obtener una matriz consolidada, pero que contendrá, posiblemente, muchas celdas nulas (ceros estructurales). Estas celdas pueden ser rellenadas con la información existente debidamente actualizada, obteniendo de esta manera las matrices OD para toda el área de estudio. De ser necesario, las matrices así construidas pueden pasar también por un proceso de ajuste a conteos, utilizando, por ejemplo, el método de maximización de la entropía incluidos en distintos paquetes computacionales. Evidentemente, en el caso de una encuesta de cobertura total, las matrices de viaje se construyen sólo a partir de los datos de dicha encuesta y los conteos de tránsito realizados.

a) *Encuesta OD Pasajeros en Vehículos Privados*

Corresponde a la realización de encuestas origen destino de interceptación en carreteras. El objetivo es el de caracterizar adecuadamente la demanda de viajes en auto para la red vial considerada para el estudio. La elección de los puntos de control debe ser tal de evitar encuestar viajes intrazonales y se debe privilegiar la localización de puntos de control en rutas competitivas al proyecto ferroviario en estudio de manera de capturar usuarios potenciales del ferrocarril. En aquellos proyectos en que se considere la modelación explícita de la asignación a

la red vial, también se deben considerar otros puntos de control para lograr una buena caracterización de la demanda para toda la red modelada.

La encuesta OD, además de establecer el origen y destino de los viajes, debe incluir información que permita segmentar a los usuarios (nivel de ingreso, propósito, frecuencia de viaje, etc.) y ocupación del vehículo, de manera de determinar las matrices de demanda en términos de pasajeros por cada segmento.

Para vehículos livianos se recomienda realizar un muestreo doble, es decir, se selecciona aleatoriamente el vehículo y luego a elige uno de sus ocupantes para realizar la entrevista. El cálculo del tamaño muestral en este caso se determina con la siguiente expresión:

$$n \geq \frac{\alpha \cdot V}{\left(\frac{e}{t}\right)^2 + \frac{\alpha \cdot V}{N}} \quad [19-1]$$

Donde:

n : es el número de encuestas a realizar

$$\alpha = \frac{\sum_i \left(\frac{m_i}{M}\right)^2}{nv} \quad \begin{array}{l} \text{con: } m_i = \text{n}^\circ \text{ de ocupantes del vehículo } i \\ M = \text{n}^\circ \text{ promedio de ocupantes} \\ nv = \text{n}^\circ \text{ de vehículos} \end{array}$$

$$V = \frac{(1-p)}{p} \quad \text{con } p = \text{proporción de usuarios que viajan entre un par OD en el punto de encuesta.}$$

e : es el error máximo aceptable (en tanto por 1)

t : 1,96

N : es el flujo vehicular

El valor de α puede estimarse a partir de la distribución del número de ocupantes de los vehículos livianos obtenidos de otras encuestas. Suponiendo por ejemplo que en el 50% de los vehículos el conductor viaja solo, que en un 30% de los casos viaja con un acompañante, en el 10% viajan 3 personas y en otro 10% viajan 4, entonces la tasa de ocupación media M es de 1,8 y el valor de $\alpha = 1,3$

El valor del error máximo aceptable e puede considerarse en un 20% (0,2) para proporciones del flujo total mayores al 5% (valor de p) y t corresponde a 1,96 (para un nivel de confianza de 95%)

Es importante hacer notar que la elección de los valores de los parámetros (p y e), no es trivial, por cuanto los niveles de error aceptables pueden diferir mucho cuando se trata de flujos de mayor o menor magnitud. En efecto, si el flujo total en un cierto punto de control es bajo, todos los pares OD que pasan por dicho punto también serán pocos viajes, por lo que podría aceptarse un mayor nivel de error. Diferente es cuando se tiene un punto de control con altas magnitudes de flujo, en donde aún un par OD que represente una baja proporción (por ej. 2%), puede representar una magnitud de flujo importante, por lo que será importante mejorar la precisión en esos casos.

Será en definitiva el Mandante del estudio el que establezca los requerimientos de precisión en las encuestas o bien el analista deberá establecerlos en función de los alcances, plazos y presupuestos disponibles, siendo los valores expuestos en este documento sólo referenciales.

A modo de ejemplo, a continuación se presentan los tamaños de muestra requeridos en función del flujo total, considerando los valores de los parámetros sugeridos anteriormente ($e = 0,2$; $p = 0,05$; $\alpha = 1,3$)

Cuadro 19-1 Tamaño de Muestra y Fracción de Muestreo Encuestas Carreteras

Flujo Veh/Día	Tamaño de Muestra	Fracción de Muestreo
200	184	92%
400	342	86%
700	541	77%
1000	703	70%
2000	1.085	54%
3000	1.325	44%
4000	1.489	37%
5000	1.609	32%
7500	1.802	24%
10000	1.917	19%
15000	2.048	14%
20000	2.121	11%

Fuente: Elaboración Propia

b) *Encuesta OD Pasajeros en Bus*

Las encuestas OD a pasajeros en bus se realizan a personas individuales o grupos que viajan juntos (encuestando, en este caso, a uno de los integrantes del grupo). Se debe encuestar a una muestra aleatoria de pasajeros, ya sea a bordo de los vehículos o en una instalación terminal. Al igual que la encuesta a vehículos privados, se entrevista a los pasajeros para obtener información acerca del viaje que realiza y datos sobre sus características socioeconómicas.

En primer lugar, la realidad que se quiere representar es el número de viajeros entre los diferentes orígenes - destino en el área de interés. Se estima que la mejor manera de asegurar una adecuada representación es realizando un muestreo estratificado.

En el muestreo estratificado la varianza total del estimador se obtiene como la suma ponderada de las varianzas de cada estrato. Esta última se calcula como:

$$V_h = \left(\frac{(1-f_h)}{f_h} \right) \cdot \sum_{i=1}^{M_h} \left(n_{ih} - \frac{N_h}{M_h} \right)^2 \quad \text{con} \quad f_h = \frac{m_h}{M_h} \quad [19-2]$$

Donde:

M_h : Número total de salidas en el período del estrato h

m_h : Número de salidas en muestra correspondiente al estrato h

f_h : Fracción de muestreo para el estrato h

N_{nh} : Número total de personas que viajan de O a D en el estrato h

n_{ih} : Número de personas que viajan de O a D en la salida i del estrato h

Interesa definir los estratos de manera que el número de personas que viajan desde O a D sea aproximadamente constante entre las distintas salidas pertenecientes al estrato. Luego, lo lógico es estratificar por servicio (origen, destino y trazado del bus) de manera de minimizar la varianza intraclásica. Sin embargo, este criterio es bueno si el número de servicios distintos dentro del universo de interés no es muy elevado, lo cual para el caso de proyectos ferroviarios puede ser el caso pues, en general, sólo interesarán los servicios que compiten con el tren, que típicamente no serán muchos. En caso contrario, es posible plantear la estratificación en función del destino del bus (para un origen dado). En todo caso, a nivel interurbano, ambos criterios debieran arrojar una estratificación similar, por cuanto, típicamente no existen servicios entre un par OD con diferentes trazados.

El número de buses a encuestar (en cada estrato) se determina con la siguiente expresión:

$$n = \frac{V}{\left(\frac{e}{t}\right)^2 + \frac{V}{M}} \quad [19-3]$$

Donde:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^M \left(\frac{T_i}{T} P_i - P \right)^2}{P^2} \quad [19-4]$$

Con:

M : Número total de salidas de buses en un estrato dado

T_i : Ocupación del bus en la salida i

T : Ocupación promedio de los buses en el estrato

P_i : Proporción de pasajeros que en la salida i van de O a D

P : Proporción de pasajeros que van de O a D en el estrato

e : es el error máximo aceptable (en tanto por 1)

t : 1,96 (95% de confianza)

Luego, a modo referencial, asumiendo un valor de $V = 0,2$ y un error $e = 20\%$ (0,2) se obtienen los siguientes tamaños muestrales según el número total de salidas en el período para un estrato dado.

Cuadro 19-2 Número de Buses a Encuestar

Salidas Estrato Sal/Día	Tamaño de Muestra	Fracción de Muestreo
20	10	50%
15	8	53%
10	7	70%
5	4	80%

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a la selección de los pasajeros a encuestar al interior del bus, por ser este un conglomerado natural (existirá alta correlación entre las respuestas de los distintos pasajeros) puede plantearse la opción de entrevistar sólo a una proporción de ellos, seleccionándolos en forma aleatoria. Sin embargo, la práctica indica que es conveniente intentar encuestar a todos los pasajeros, en particular si la encuesta se desarrolla durante el trayecto del bus.

c) *Encuesta OD Pasajeros en Tren y Avión*

Conceptualmente, el caso de trenes y aviones es el mismo que el de buses, con la diferencia que el número de estratos (rutas) será normalmente menor en este caso y la información de las frecuencias dentro de cada estrato es mucho más exacta. Incluso puede disponerse de bastante información adicional respecto de los flujos verdaderos de viajeros, que permiten imponer restricciones a la matriz de viajes derivada de las encuestas, mejorando así la calidad de las estimaciones. También debe considerarse que la varianza de los datos es menor en este caso, debido a la mayor homogeneidad de orígenes y destinos de los pasajeros en cada ruta (y recuérdese que cada ruta será un estrato).

En general, las encuestas en trenes pueden realizarse a bordo de los mismos en cada servicio considerado (estrato). En el caso de los aviones, las encuestas deben realizarse en las salas de embarque de los aeropuertos.

d) *Encuestas OD Transporte de Carga*

De acuerdo con el enfoque propuesto, la demanda de carga no requiere ser modelada en detalle (por tipo de producto desagregado) a fin de predecir las decisiones de los despachadores en cuanto a la elección modal. Los proyectos de carga surgen de un requerimiento específico a partir de una demanda bien definida, tanto en magnitud como origen destino (la cual debe ser correctamente caracterizada en base a entrevistas y proyecciones de los productores de la misma). El concepto en este caso plantea que, dada la especialización del tipo de carga movilizada por ferrocarril, el proyecto ferroviario surge ligado a un proyecto productivo (una nueva planta, una explotación minera, etc.) o a una demanda existente de gran volumen que actualmente no se transporta en ferrocarril pero que se estima que con las inversiones adecuadas ella podría ser captada. El análisis debe establecer la demanda susceptible de ser transportada

en ferrocarril, para lo cual es necesario realizar entrevistas con los generadores de la carga e involucrarlos en el proyecto, estableciendo con ello la demanda de interés y sus proyecciones futuras. Sin embargo, para la evaluación del proyecto es necesario determinar los impactos (beneficios) tanto para la demanda de interés como para el resto de los usuarios de las redes multimodales involucradas, lo cual requiere (cuando se estime que dichos impactos son relevantes) caracterizar adecuadamente dichas redes.

En el caso de la caracterización de la demanda de carga ferroviaria existente en el área de estudio, la información base corresponderá a las matrices de carga de las empresas porteadoras que utilizan la infraestructura modelada. También será necesario llevar a cabo entrevistas con estas empresas y los despachadores para recabar antecedentes que permitan proyectar la evolución de la demanda de carga ferroviaria para los productos que actualmente son transportados.

Por su parte, la demanda existente de carga en camiones debe ser caracterizada, por una parte, para simular adecuadamente la operación de la red vial en la Situación Actual y, por otra, para construir los modelos de proyección necesarios para la simulación de la operación en los cortes temporales futuros. Esto implica la necesidad de contar con matrices OD de carga, ya sea existentes previamente y sometidas a un proceso de actualización y ajuste de matrices o bien construidas a partir de encuestas a realizar directamente en terreno.

En general, para el caso del transporte de carga por tren, las matrices suelen estar disponibles en las empresas operadoras o bien deben ser construidas a partir de entrevistas con los operadores. Sólo en el caso de camiones se considerará la realización de encuestas de interceptación en carreteras.

La encuesta, además del origen y destino, debe incluir el tipo de camión, número de ejes, tipo de carga transportada, peso de la carga. Esta información es importante, pues permite validar los datos, ya que debe haber consistencia entre las respuestas registradas.

Para las encuestas a camiones en carretera basta con un muestreo simple, es decir, se selecciona aleatoriamente el vehículo a encuestar. El cálculo del tamaño muestral en este caso se determina con la siguiente expresión:

$$n \geq \frac{V}{\left(\frac{e}{t}\right)^2 + \frac{V}{N}} \quad [19-5]$$

Donde:

n: es el número de encuestas a realizar

$$V = \frac{(1-p)}{p}$$

Con p = proporción de usuarios que viajan entre un par OD en el punto de encuesta.

N: es el número total de camiones que circula por el punto de control

e: es el error máximo aceptable (en tanto por 1)

t: 1,96 (95% de confianza)

El valor del error máximo aceptable e puede considerarse en un 20% (0,2) para proporciones del flujo total mayores al 5% (valor de p) y t corresponde a 1,96 (para un nivel de confianza de 95%)

De la misma forma que se mencionó para el caso de vehículos privados, se hace notar que la elección de los valores de los parámetros (p y e), no es trivial, por cuanto los niveles de error aceptables pueden diferir mucho cuando se trata de flujos de mayor o menor magnitud.

Será en definitiva el Mandante del estudio el que establezca los requerimientos de precisión en las encuestas o bien el analista deberá establecerlos en función de los alcances, plazos y presupuestos disponibles, siendo los valores expuestos en este documento sólo referenciales.

Para los valores de los parámetros sugeridos anteriormente ($e = 0,2$; $p = 0,05$) en el cuadro siguiente se presentan, a modo referencial, los tamaños de muestra resultantes en función del flujo total diario.

Cuadro 19-3 Tamaño de Muestra y Fracción de Muestreo Encuestas Carreteras a Camiones

Flujo Veh/Día	Tamaño de Muestra	Fracción de Muestreo
200	180	90%
400	328	82%
600	452	75%
800	556	70%
1000	646	65%
1400	792	57%
1800	906	50%

Fuente: Elaboración Propia

Dado que típicamente los niveles de flujo de camiones no son tan elevados como los de vehículos livianos, se observa que los tamaños muestrales en este caso suelen ser una proporción elevada del flujo total.

e) *Diseño de formularios de encuesta*

Los formularios de encuesta deberán contemplar como mínimo las siguientes variables:

Vehículos privados

- Hora
- Origen del viaje (localidad y comuna)
- Destino del viaje (localidad y comuna)
- Ocupación del vehículo
- Propósito del viaje
- Frecuencia del viaje
- Quién financia el viaje
- Nivel de Ingreso

Transporte Público (bus, tren, avión, etc.)

- Hora
- Origen del viaje (localidad y comuna)
- Destino del viaje (localidad y comuna)
- Tiempo de acceso al modo
- Costo de acceso al modo
- Propósito del viaje
- Clase (tipo de acomodación)
- Tarifa pagada
- Frecuencia del viaje
- Quién financia el viaje
- Nivel de Ingreso

Camiones

- Hora
- Tipo de camión
- Número de ejes
- Origen del viaje (localidad y comuna)
- Destino del viaje (localidad y comuna)
- Tipo de carga transportada
- Peso de la carga
- Capacidad de carga del camión

19.8.3 Encuestas de preferencias

A continuación se presentan los principales aspectos en la construcción de este tipo de datos que serán fundamentales en la estimación de modelos de partición modal de pasajeros.

19.8.3.1 Encuestas de Preferencias Reveladas

Las encuestas de preferencias reveladas consideran la recolección de antecedentes sobre las alternativas de transporte escogidas por los usuarios y las alternativas descartadas. Éstas deben ser capaces de caracterizar tanto el viaje (origen, destino, frecuencia, horario, propósito, entre otras variables), como a los usuarios (estrato socio-económico, posesión de automóvil, restricciones de presupuesto, tamaño del grupo y de tiempos de viaje, entre otras variables).

El tamaño muestral mínimo requerido en el levantamiento de encuestas de preferencias reveladas corresponde a 30 encuestas por parámetro y estrato o segmento considerado. De esta manera, si se desea construir un modelo con tres parámetros y cuatro estratos de ingreso se requiere un mínimo de 360 encuestas válidas. Una vez identificadas las elecciones realizadas por

los usuarios, es preciso determinar la información relativa a las variables de nivel de servicio o atributos que inciden en la decisión de viajar.

Para definir el conjunto de modos disponibles (choice set) es necesario construir criterios de disponibilidad de modos y servicios, basados en la topología de la red (existencia de rutas aéreas o servicios ferroviarios y de buses entre pares origen-destino) y el nivel socio-económico de los viajeros (nivel de ingreso en el caso de la disponibilidad de los modos más costosos y posesión de automóvil en el caso de este modo).

Otro aspecto relevante en la construcción de la base de datos, tiene relación con la representatividad de cada una de las encuestas levantadas. Tomando en cuenta que se dispone de datos individuales, que no necesariamente representan la participación de mercado de cada uno de los modos, es sumamente relevante incorporar dentro del análisis la participación observada de cada modo dentro del sistema de transporte.

19.8.3.2 Encuestas de preferencias declaradas

En aquellos casos en los que se requiera estudiar nuevas alternativas de transporte, o bien no existan antecedentes observables del comportamiento actual de los viajeros, se deberá recurrir al diseño y levantamiento de encuestas de preferencias declaradas.

En este caso el tamaño muestral mínimo requerido en el levantamiento corresponde a 75 encuestas por parámetro y estrato o segmento considerado. Por ejemplo, si se requiere modelar adecuadamente dos temporadas, tres propósitos de viaje, utilizando tres parámetros, se obtiene un tamaño muestral de 1350 encuestas válidas. Naturalmente, se deberá levantar un número suficiente de encuestas que permita asegurar la obtención de la muestra requerida.

Si la encuesta se realiza mediante respuestas postales, el número de encuestas a repartir deberá ser sensiblemente mayor. Las experiencias en el país indican una tasa de devolución del orden del 20% (ofreciendo un premio apropiado), por lo tanto, el número de formularios a repartir en este caso deberá ser cinco veces mayor al tamaño de muestra estimado.

En cuanto al diseño, en términos generales, se sugiere considerar al menos los siguientes pasos:

- a) Definir un contexto de modelación realista que permita a los encuestados enfrentar una situación similar a la que actualmente realizan y permita incorporar de manera realista la nueva alternativa de transporte
- b) Identificar los atributos relevantes para el diseño experimental. En este caso se debe seleccionar entre atributos tales como valor de pasajes, tiempos de viaje, tiempo de acceso y horario de salida, entre otras variables. Considerando la necesidad de mantener el instrumento de medición dentro de límites razonables de complejidad y duración para el encuestado, se hace necesario simplificar el diseño y utilizar sólo aquellas variables que resulten más importantes para el objetivo del estudio, limitando la cantidad de atributos a un máximo de tres atributos.

Dada la gran cantidad de atributos que inciden en las elecciones, se hace imprescindible jerarquizarlos de acuerdo al grado de importancia relativa de un atributo respecto de otro.

- c) Construcción de experimentos. Se deberá definir el conjunto de disyuntivas o alternativas de elección, empleando algunas de las técnicas de diseños experimentales, entre las que se sugiere el uso de diseños factoriales fraccionales.

Independiente de la técnica, se requerirá la definición de disyuntivas a ser presentadas a los usuarios, tanto en términos de valores absolutos como diferencias relativas. En la definición de alternativas se deberá tener en consideración las siguientes sugerencias:

- Las elecciones no deben contener alternativas dominadas. Esto significa excluir aquellas alternativas cuyos atributos sean todos peores que la otra.
 - Las elecciones deben ser razonablemente similares a las situaciones que normalmente encuentra el individuo en sus viajes reales.
 - Las alternativas deben ofrecer valores de los atributos que no estén dominados por aquellos de la situación real.
 - Se debe minimizar el riesgo de obtener respuestas con sesgo de política. Dado que los encuestados normalmente intuyen que los resultados del estudio serán utilizados por la autoridad para la definición de políticas de inversión u operación, puede ocurrir que los encuestados tiendan a responder en función de favorecer una determinada política (por ejemplo, que no suban las tarifas), en vez de responder lo que realmente decidirían en una situación real.
- d) Presentación del diseño experimental. Se debe cuidar la presentación del diseño experimental, incorporando el uso de apoyo gráfico que facilite la comprensión del experimento por parte de los encuestados. En este sentido, se deben generar juegos de tarjetas que permitan desplegar cada una de las disyuntivas. Alternativamente, se puede desplegar las tarjetas de manera gráfica a través de dispositivos digitales.
- e) Diseño de Encuestas Piloto. Con el fin de validar el diseño experimental planteado es conveniente realizar a lo menos una encuesta piloto que permita chequear tanto la comprensión del experimento por parte de los encuestados, como el rango de validez de los parámetros incorporados. Esto último permitirá realizar los ajustes que sean convenientes a los experimentos planteados.
- f) Simulación computacional del diseño experimental. La simulación computacional del diseño experimental, tiene por objeto probar la bondad estadística del diseño antes de aplicarlo a la muestra definitiva o piloto de población a encuestar. Para ello, se debe generar una base de datos que refleje el diseño experimental propuesto, donde la elección es realizada por cada "individuo generado", maximizando su utilidad total, la cual posee dos componentes, la utilidad directa o medible y la utilidad aleatoria, que refleja la componente estocástica involucrada en todo proceso de decisión.

Obtenida la base de datos hipotética es posible estimar la nueva función de utilidad mediante el método de máxima verosimilitud. Si esta función es similar a la función empleada originalmente el diseño es adecuado, en caso contrario éste debe ser modificado.

19.8.4 Duración de los períodos de medición

Tal como se ha indicado previamente, la recomendación es trabajar a partir de flujos diarios, por lo que la duración de los conteos y encuestas origen destino debe ser consistente con ello.

En el caso de conteos y encuestas a pasajeros de vehículos privados, no se requerirá necesariamente considerar campañas de mediciones de 24 horas, pudiendo concentrar los esfuerzos en el período de mayor intensidad de flujos. Por ello, se sugiere considerar una duración de 16 horas, entre las 7:00 y las 23:00 hrs. Luego, se pueden expandir los resultados aplicando factores 24/16 obtenidos de datos continuos de plazas de peaje o instrumentos contadores cercanos a los puntos de medición.

En el caso del transporte público, las encuestas deben ser realizadas durante todo el período de operación de los servicios. Ciertos servicios operan regularmente durante el día con salidas entre ciertos horarios y otros se concentran en horarios específicos, por ejemplo, los servicios nocturnos de larga distancia salen del origen entre las 20:00 y 24:00 hrs.

En el caso del transporte de carga, debido a que existe típicamente una operación constante día y noche, se recomienda que las encuestas y conteos sean realizadas en cada día representativo durante las 24 horas.

Finalmente, en el caso de encuestas de preferencias declaradas o reveladas, ellas buscan recopilar información sobre el comportamiento de los usuarios, considerando una muestra fijada de antemano. Luego, estas encuestas deben realizarse en días representativos de cada período, en los horarios de mayor actividad a fin de lograr la muestra requerida.

20 ANEXO F: INFORMACIÓN DE ACCIDENTES

20.1 Accidentes ferroviarios

Los principales accidentes ferroviarios en Chile corresponden a colisiones en cruces a nivel y atropellos. Existen dos fuentes de información de accidentes ferroviarios. La primera corresponde a la base de datos SIEC2 de Carabineros de Chile, en la cual se registran los accidentes que ocurren (tanto viales como ferroviarios). La segunda corresponde a las empresas ferroviarias, que suelen registrar con cierto detalle los accidentes.

La información existente en las bases de datos de Carabineros puede ser insuficiente para lograr hacer una caracterización adecuada de los accidentes en que participan trenes, ya sea por la imprecisión en algunos datos imprescindibles (como la localización exacta del accidente) y la falta de otros (como el tipo de tren involucrado).

En el caso de la información de las empresas ferroviarias, éstas poseen buena información respecto de la localización y circunstancias de los accidentes, pero los datos son más imprecisos en cuanto a las víctimas y gravedad de sus lesiones. Si bien esta información no es pública, puede ser solicitada a las empresas operadoras ferroviarias.

El análisis combinado de ambas fuentes de información, cuando ellas estén disponibles, permitirá desarrollar un diagnóstico en el sector en estudio y establecer tasas de accidentabilidad.

La información mínima que debe ser recopilada para caracterizar los accidentes ferroviarios es la siguiente:

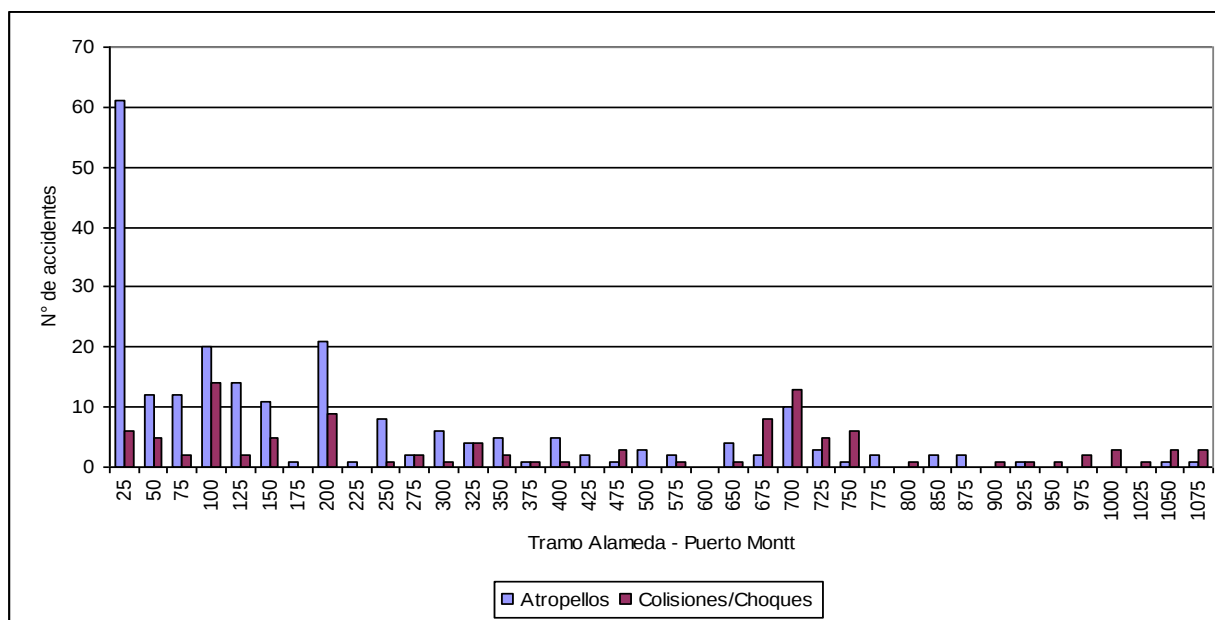
- Fecha
- Hora
- Vía (línea central, ramal, etc.)
- Tipo de vía (simple, doble)
- Operador
- Tipo de tren
- Región
- Comuna
- Ubicación (Kilómetro, Poste, nombre del cruce)
- Tipo de Accidente
- Vehículos viales involucrados (clasificados al menos como: vehículos livianos y vehículos pesados)
- Cantidad de lesionados según gravedad
- Cantidad de fallecidos

La información debe procesarse de manera tal de determinar tasas de accidentabilidad en función del tráfico ferroviario, por lo que también debe recopilarse información de tráfico en los distintos sectores de la red ferroviaria. El tráfico normalmente se expresa en unidades de MTK (millón de trenes kilómetro por año) cuando se trata de tramos; en el caso de los cruces a nivel, puede considerarse tasas en función del tráfico en trenes/año.

En el caso de los atropellos, la red debe tramificarse por sectores en donde la densidad poblacional en las inmediaciones de la vía representa un factor relevante en las tasas, así como también la existencia de contramedidas tales como: cruces peatonales formales y confinamiento de la vía. En el caso de colisiones en cruces a nivel, también se deberá clasificar las tasas en función de las características de los cruces: cruces públicos artículo 1 ó 2 del DS 252³¹; cruces particulares, cruces ilegales, etc. También es oportuno, clasificar las tasas en función de los flujos viales que cruzan la vía, si estos estuvieran disponibles. En caso contrario, al menos debieran diferenciarse los cruces existentes en zonas urbanas, de aquellos en caminos interurbanos.

Esta figura muestra como la mayor cantidad de atropellos se producen en sectores de mayor densidad poblacional como en las inmediaciones de Santiago, Rancagua (km.100), Curicó (km. 200), Temuco (km.700). En el caso de las colisiones, se observa una situación similar, aunque en este caso la magnitud del tráfico vial que cruza, además del ferroviario y el estándar de equipamiento de seguridad en los cruces, tienen una influencia relevante.

Figura 20-1 Atropellos y Colisiones, Alameda - P. Montt 2005-2007



Fuente: “Análisis de la Seguridad en el Transporte Ferroviario”, SUBTRANS 2008

³¹ El DS 252 de 1994 establece el listado de cruces ferroviarios a nivel, autorizados por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Los cruces del artículo 1 o 2 se diferencian en los requerimientos en los elementos de seguridad exigidos.

La determinación de tasas en función de estas variables, permitirá asimilarlas a otros sectores donde no se cuente con información o para estimar accidentes en proyectos que contemplen nuevos trazados o para estimar accidentabilidad frente a mejoramientos en la vía y/o cruces a nivel (cambios de estándar).

En caso de no contar con información específica de accidentes ferroviarios, por ejemplo para estudios a nivel de perfil, puede utilizarse información de estudios previos. En particular, en el estudio “Análisis de la Seguridad en el Transporte Ferroviario”, SUBTRANS 2008, se analiza la información existente para la totalidad de la red ferroviaria, tanto de EFE como de otros ferrocarriles (aunque la de estos últimos es sólo parcial y de baja calidad) y se establecen tasas de accidentabilidad generales y costos medios por accidentes ferroviarios.

20.2 Accidentes viales

Los datos de accidentes viales son recogidos por Carabineros de Chile y volcados en una base de datos (SIEC2) cuya periodicidad es anual. El procedimiento debe orientarse a la caracterización de la accidentabilidad en la red vial analizada y a establecer tasas en relación a los flujos vehiculares según tipos de camino y zona geográfica, a fin de predecir variaciones en la cantidad de accidentes viales a raíz de la implementación de un proyecto ferroviario, cuando éste genere variaciones en los flujos viales debido a cambios en la partición modal (Proyectos Tipo II y III).

En general, la información requerida para los accidentes viales es similar a la descrita para los accidentes ferroviarios. Los datos mínimos a recopilar para cada accidente son:

- Fecha
- Hora
- Rol del camino
- Tipo de carpeta (pavimentado, no pavimentado)
- Tipo de calzada (simple, doble)
- Región
- Comuna
- Ubicación (Kilómetro)
- Tipo de Accidente (atropello, colisión, choque, volcamiento, otro)
- Vehículos involucrados (clasificados al menos como: vehículos livianos y vehículos pesados)
- Cantidad de lesionados según gravedad
- Cantidad de fallecidos

El objetivo, al igual que en el caso ferroviario, es determinar tasas de accidentabilidad en función del flujo vehicular (MVK: millón de vehículos kilómetro) por tipo de camino.

El estudio “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”, SECTRA 2007, es una buena referencia para el tratamiento de la información de accidentes. En dicho estudio se establecieron tasas de accidentabilidad medias por tipo de camino y zona geográfica, así como un vector de precios sociales de accidentes (válido para el caso ferroviario también, en lo referente a lesionados y fallecidos) y valores sociales medios de accidentes viales.

