



Ministerio de  
Obras Públicas

Gobierno de Chile

# PLAN NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA PARA LA MOVILIDAD 2020-2050.

## APÉNDICES

DIRECCIÓN DE PLANEAMIENTO

NOVIEMBRE 2020



## **CONTENIDOS**

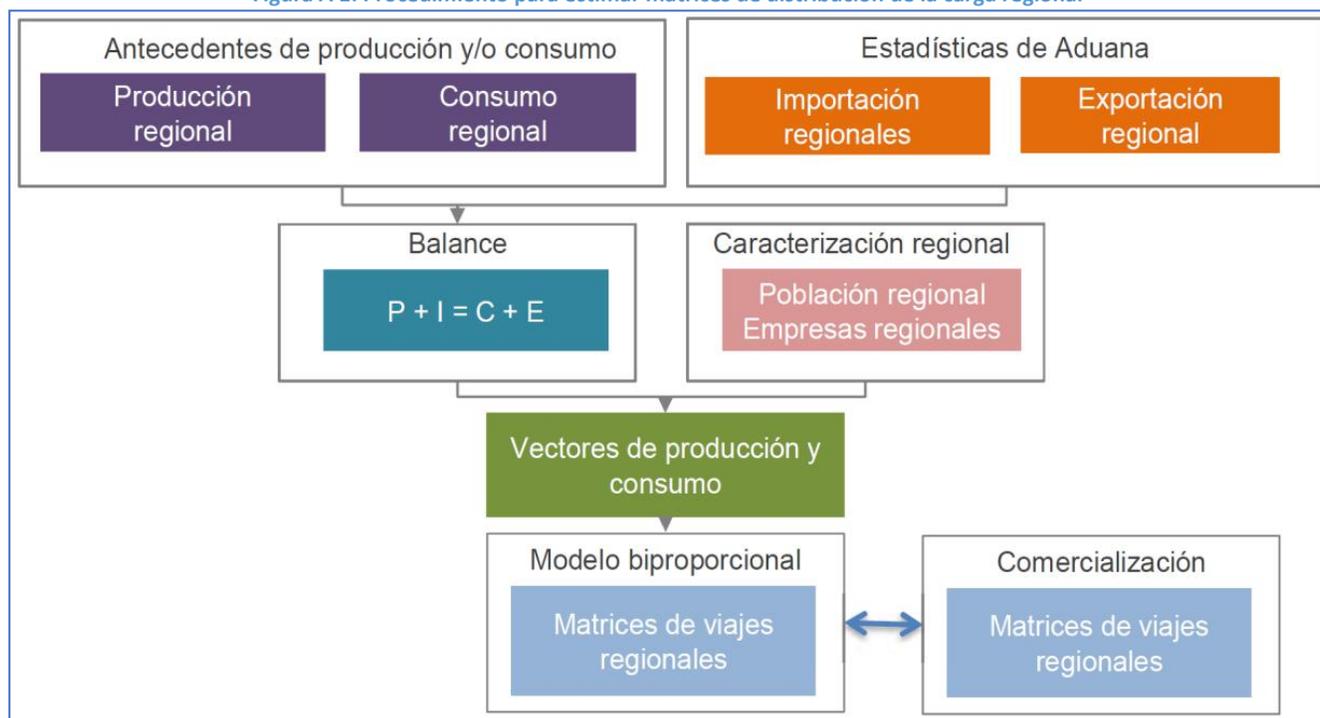
<b>APÉNDICE A: DATOS BÁSICOS .....</b>	<b>3</b>
<b>APÉNDICE B: MODELO ECONÓMICO-REGIONAL Y DE TRANSPORTE .....</b>	<b>6</b>
<b>APÉNDICE C: SISTEMA DE EVALUACIÓN.....</b>	<b>25</b>
<b>APÉNDICE D: EMISIONES .....</b>	<b>33</b>
<b>APÉNDICE E: RIESGOS .....</b>	<b>39</b>
<b>APÉNDICE F: REUNIONES DE COORDINACIÓN Y DIFUSIÓN DEL PLAN .....</b>	<b>41</b>

## Apéndice A: Datos Básicos

Las matrices origen destino por tipo de carga correspondientes al año 2017 fueron obtenidas del estudio “Asesoría para la Modelación del Plan Nacional de Movilidad 2020–2050, MOP DIRPLAN (2019)”<sup>1</sup>.

A partir de la definición del Banco Central, correspondientes a 22 productos, se estimó la producción (P) y el consumo (C) regional más las importaciones (I) y exportaciones (E) de estos productos con información del Servicio Nacional de Aduanas. Una vez obtenidos los vectores de origen (producción P) y destino (consumo C) de las cargas, estas se distribuyen por el método bi-proporcional basado en la distancia (o costo generalizado), de tal forma que la distribución reproduzca los orígenes y destinos que ingresaron como insumos al proceso<sup>2</sup>. El procedimiento se presenta en la Figura A 1.

Figura A 1: Procedimiento para estimar matrices de distribución de la carga regional



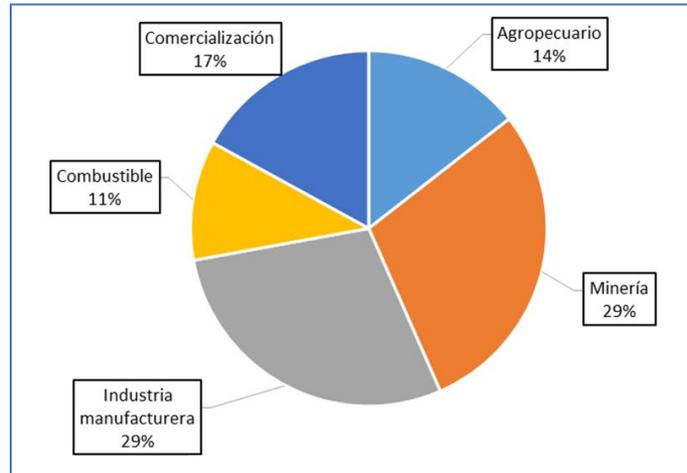
Fuente: CIPRES (2019) Asesoría para la Modelación del Plan Nacional de Movilidad 2020-2050, MOP DIRPLAN 2019.

Los productos se agrupan en cinco sectores correspondiendo a los sectores del Modelo Económico Regional (ver sección B2), excepto que el sector servicio no genera demanda de carga, solo viajes y, también, se desagregó el sector combustible (parte del sector manufactura) ya que se genera en muy pocos orígenes (importación y refinerías).

<sup>1</sup> Ver CIPRES (2019), Asesoría para la Modelación del Plan Nacional de Movilidad 2020–2050, Primer informe de avance Febrero 2019, MOP DIRPLAN.

<sup>2</sup> Ver Fratar: Método que consiste en iteraciones para lograr la distribución de viajes en una matriz Origen Destino, teniendo previamente los vectores O y D. <http://materias.fi.uba.ar/6808/contenidos/DemandaRedes.pdf>.

Gráfico A 1: Porcentaje de la carga por sector 2017



Fuente: CIPRES (2019) Asesoría para la Modelación del Plan Nacional de Movilidad 2020-2050, MOP DIRPLAN 2019.

Las toneladas generadas (producidas) y las atraídas (consumidas) en estos cinco grupos, se asignan a los lugares de producción en las distintas regiones, como se presenta en la Tabla A 1. La asignación de la carga, debidamente transformada a tipos de vehículos se compara con los datos de conteos en distintos puntos de la red (puertos, pasos fronterizos, tramos viales y plazas de peajes, etc.) y así se calibran los valores de los parámetros que representan la elasticidad de la demanda de transporte en relación con el costo generalizado para que se aproximen a las observaciones. La Tabla A 2 muestra la matriz de distribución de toneladas de Origen a Destino (Nótese que el orden de las regiones es distinto a la del Modelo Económico Regional - MER) estimada para todos los sectores para el año 2017. Se utilizan los vectores de Producción y Consumo para los años 2020 hasta 2050 producidos por el MER para expandir las matrices sectoriales.

Tabla A 1: Toneladas anuales generadas y atraídas por región 2017 (MM)

REGIÓN	SECTOR											Total	
	Agrícola		Minerales		Manufacturas		Combustible		Comercio		Gen	Atr	
	Gen	Atr	Gen	Atr	Gen	Atr	Gen	Atr	Gen	Atr			
Tarapacá	0,01	0,32	12,93	1,04	0,75	1,93	0,00	0,97	0,90	0,93	<b>14,59</b>	<b>5,19</b>	
Antofagasta	0,01	0,58	14,72	8,54	6,62	8,72	0,00	7,80	2,22	2,20	<b>23,57</b>	<b>27,84</b>	
Atacama	0,12	0,27	25,15	4,27	1,32	2,32	0,00	2,01	0,96	0,86	<b>27,55</b>	<b>9,73</b>	
Coquimbo	0,82	0,72	6,37	3,44	1,06	2,63	0,00	0,71	2,18	1,96	<b>10,43</b>	<b>9,46</b>	
Valparaíso	1,10	1,81	5,99	7,24	5,83	7,41	3,66	6,79	6,19	4,19	<b>22,77</b>	<b>27,44</b>	
O'Higgins	4,67	1,34	4,42	3,62	3,99	4,05	0,00	0,76	3,18	2,09	<b>16,26</b>	<b>11,86</b>	
Maule	8,03	5,47	4,16	5,31	4,91	3,64	0,00	0,91	2,92	2,48	<b>20,02</b>	<b>17,81</b>	
Biobío	14,90	14,31	4,17	6,37	12,29	7,94	4,26	7,29	6,67	7,76	<b>42,29</b>	<b>43,67</b>	
Araucanía	9,89	7,34	2,01	2,70	6,25	5,69	0,00	0,56	5,24	5,15	<b>23,39</b>	<b>21,44</b>	
Los Lagos	3,16	2,21	1,16	1,80	6,13	6,50	0,00	0,96	6,15	6,00	<b>16,60</b>	<b>17,47</b>	
Aysén	0,07	0,09	0,06	0,14	0,70	0,78	0,00	0,21	0,77	0,77	<b>1,60</b>	<b>1,99</b>	
Magallanes y A Ch.	0,13	0,21	0,72	0,85	0,77	0,37	1,22	0,39	0,42	0,42	<b>3,26</b>	<b>2,24</b>	
Metropolitana de Santiago	2,41	6,79	21,05	24,79	16,52	25,83	0,00	6,47	20,26	24,08	<b>60,24</b>	<b>87,96</b>	
Los Ríos	3,31	2,99	0,56	0,88	3,77	3,10	0,00	0,55	2,90	2,42	<b>10,54</b>	<b>9,94</b>	
Arica y P.	0,12	0,22	1,15	1,34	0,40	0,69	0,00	0,49	0,69	0,69	<b>2,36</b>	<b>3,43</b>	
Ñuble	4,62	4,43	1,29	1,97	3,81	2,46	0,00	2,26	2,07	1,74	<b>11,79</b>	<b>12,86</b>	
Argentina	0,30	0,32	0,56	0,02	2,14	0,71	0,21	0,00	0,00	0,00	<b>3,21</b>	<b>1,05</b>	
Perú	0,07	0,08	0,02	0,02	0,15	0,07	0,00	0,05	0,00	0,00	<b>0,24</b>	<b>0,22</b>	
Bolivia	0,00	0,00	1,50	1,55	0,16	0,06	0,00	0,06	1,50	1,50	<b>3,16</b>	<b>3,17</b>	
Resto del Mundo	0,63	4,84	3,84	35,95	30,07	22,76	31,53	1,66	1,50	1,50	<b>67,57</b>	<b>66,71</b>	
<b>Total</b>	<b>54,35</b>	<b>54,34</b>	<b>111,83</b>	<b>111,84</b>	<b>107,64</b>	<b>107,66</b>	<b>40,88</b>	<b>40,90</b>	<b>66,72</b>	<b>66,74</b>	<b>381,42</b>	<b>381,48</b>	

Fuente: CIPRES (2019) Asesoría para la Modelación del Plan Nacional de Movilidad 2020-2050, MOP DIRPLAN 2019.

Tabla A 2: Toneladas anuales transportadas entre regiones 2017 (MM)

2017 Ton MM	Tarapacá	Antofagasta	Copiapó	Coquimbo	Valparaíso	O'Higgins	Maule	Biobío	Araucanía	Los Lagos	Aysén	Magallanes y A Ch.	RMS	Los Ríos	Arica y P.	Ñuble	Argentina	Perú	Bolivia	Mundo	Total
Tarapacá	2,34	3,09	0,30	0,23	0,25	0,08	0,09	0,08	0,02	0,01	0,00	0,00	0,57	0,01	0,82	0,03	0,00	0,03	0,05	6,61	<b>14,60</b>
Antofagasta	0,78	12,63	0,70	0,33	0,33	0,07	0,09	0,14	0,04	0,01	0,00	0,00	0,54	0,01	0,17	0,04	0,01	0,02	0,04	7,62	<b>23,57</b>
Copiapó	0,05	0,77	4,73	2,36	2,54	0,60	0,68	0,86	0,24	0,06	0,00	0,00	4,61	0,08	0,02	0,26	0,02	0,00	0,00	9,65	<b>27,55</b>
Coquimbo	0,12	0,28	0,48	3,31	1,25	0,26	0,27	0,30	0,09	0,02	0,00	0,00	2,44	0,02	0,03	0,09	0,01	0,01	0,00	1,51	<b>10,48</b>
Valparaíso	0,05	0,15	0,26	0,67	8,17	0,77	0,49	0,45	0,14	0,03	0,00	0,00	10,45	0,04	0,01	0,14	0,02	0,04	0,05	0,87	<b>22,78</b>
O'Higgins	0,04	0,09	0,07	0,22	1,29	2,84	1,70	0,60	0,16	0,04	0,00	0,00	7,98	0,03	0,01	0,26	0,01	0,00	0,00	0,92	<b>16,27</b>
Maule	0,04	0,07	0,05	0,15	0,76	1,26	6,47	2,28	0,51	0,08	0,00	0,00	3,36	0,10	0,01	1,24	0,01	0,00	0,00	3,62	<b>20,01</b>
Biobío	0,02	0,06	0,08	0,15	1,50	0,41	1,47	15,73	2,47	0,28	0,00	0,01	2,58	0,45	0,01	2,75	0,01	0,01	0,02	14,23	<b>42,26</b>
Araucanía	0,01	0,01	0,01	0,03	0,18	0,14	0,52	4,19	10,00	0,81	0,01	0,02	0,56	1,59	0,00	1,01	0,02	0,00	0,00	4,25	<b>23,37</b>
Los Lagos	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,03	0,06	0,33	0,90	9,39	0,04	0,03	0,14	1,46	0,00	0,09	0,08	0,00	0,00	3,98	<b>16,58</b>
Aysén	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,20	<b>1,60</b>
Magallanes y A Ch.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,18	0,01	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	1,86	<b>3,25</b>
Metropolitana de Santiago	0,03	0,11	0,19	0,67	5,71	3,25	1,88	1,21	0,35	0,10	0,00	0,00	44,50	0,11	0,01	0,40	0,03	0,00	0,00	1,68	<b>60,25</b>
Los Ríos	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,05	0,10	0,65	1,89	1,46	0,01	0,02	0,20	3,71	0,00	0,16	0,03	0,00	0,00	2,17	<b>10,53</b>
Arica y Parinacota	0,18	0,21	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	1,57	0,00	0,00	0,06	0,01	0,26	<b>2,37</b>
Ñuble	0,01	0,01	0,01	0,04	0,18	0,17	0,92	3,11	0,66	0,08	0,00	0,00	0,53	0,11	0,00	2,27	0,00	0,00	0,00	3,66	<b>11,78</b>
Argentina	0,06	0,34	0,31	0,24	0,23	0,03	0,01	0,01	0,02	0,11	0,50	0,52	0,48	0,03	0,01	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	<b>3,21</b>
Perú	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	<b>0,24</b>
Bolivia	0,09	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	<b>3,17</b>
Resto del Mundo	1,33	9,94	2,52	1,04	4,93	1,90	3,05	13,71	3,93	4,95	0,40	0,45	8,96	2,15	0,57	4,11	0,00	0,00	3,00	0,62	<b>67,57</b>
<b>Total</b>	<b>5,19</b>	<b>27,84</b>	<b>9,73</b>	<b>9,45</b>	<b>27,45</b>	<b>11,86</b>	<b>17,80</b>	<b>43,67</b>	<b>21,43</b>	<b>17,46</b>	<b>2,00</b>	<b>2,23</b>	<b>87,95</b>	<b>9,92</b>	<b>3,42</b>	<b>12,86</b>	<b>1,06</b>	<b>0,22</b>	<b>3,17</b>	<b>66,70</b>	<b>381,41</b>

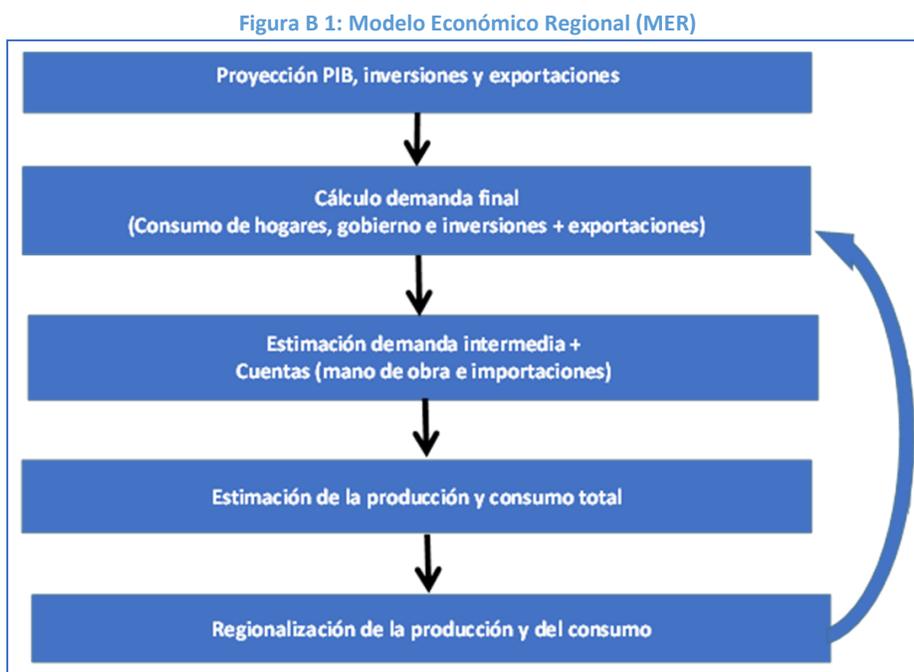
Fuente: CIPRES (2019) Asesoría para la Modelación del Plan Nacional de Movilidad 2020-2050, MOP DIRPLAN 2019.

## Apéndice B: Modelo Económico-Regional y de Transporte

### B1: Introducción

La estimación de consumo y producción se hace a través del Modelo Económico-Regional (MER). Las proyecciones del crecimiento del PIB permiten estimar la demanda de bienes y servicios por parte de los agentes económicos tales como los hogares (consumo de hogares), el sector público (gasto de gobierno), la formación bruta de capital (inversiones) y el resto del mundo (exportaciones). Estas demandas se denominan Demanda Final. A su vez, para producir los bienes y servicios para satisfacer la Demanda Final, se requiere de otros bienes y servicios, lo que se denomina Demanda Intermedia. El total de las demandas – Final e Intermedia - deben ser satisfechas por la producción nacional y por las importaciones al país. En el largo plazo se asume que las exportaciones deben ser mayores o iguales a las importaciones para mantener una balanza comercial en equilibrio. Adicionalmente, se estiman los empleos necesarios para la producción y de allí también se calcula la población resultante.

Los valores de producción nacional se asignan a las distintas regiones en función de la producción existente y de las nuevas inversiones. La demanda nacional o consumo se asigna a las regiones en función de la producción (Demanda Intermedia) y de la población, inversiones y exportación (Demanda Final). La demanda de bienes se transforma en carga transportada y en viajes. Con la estimación de la población y empleos regionales se calcula la demanda de transporte de pasajeros. Ver la siguiente Figura B 1.

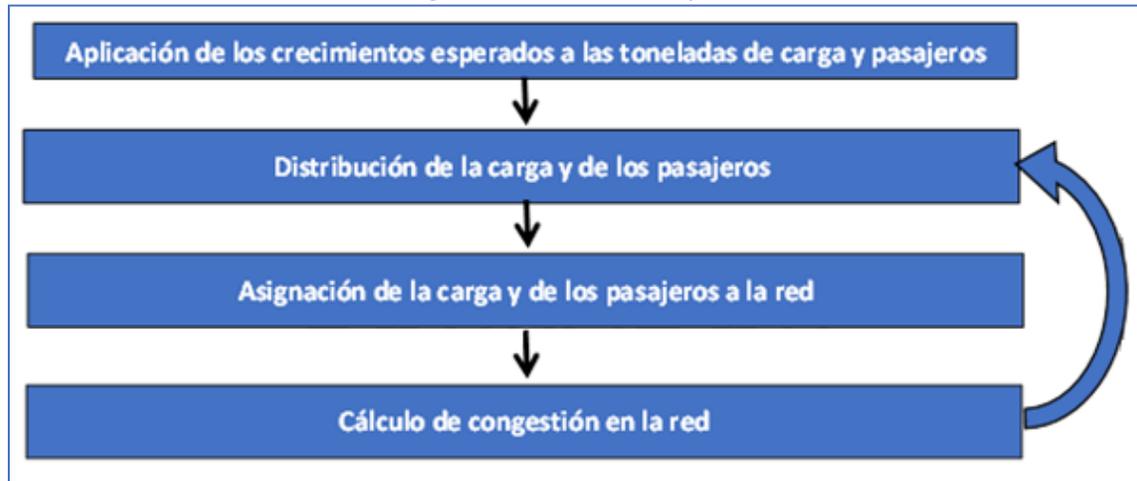


Fuente: Modelo Nacional, MOP-DIRPLAN, Junio 1997, MECSA-MEAP-INECON

Una vez concluido el proceso explicado anteriormente es posible estimar las futuras toneladas a transportar desde las regiones de origen de la producción a las regiones de destino del consumo de esta producción. Esto se denomina Distribución de la Carga. Lo mismo se hace para estimar los flujos de pasajeros desde el lugar donde viven a los destinos para trabajar, ir a la escuela, ir de compras, servicios y recreación. La forma de estimar estos flujos futuros se basa en la expansión de una matriz “observada” de origen a destino en el año de calibración (ver apéndice A). Se expande en función de la variación porcentual de la producción en el origen y

del porcentaje de cambio del consumo en el destino. Estos flujos cambiarán no solo como producto de los cambios en el origen y en el destino estimados por el modelo económico-regional sino, también, por la facilidad para transportarlos. Una vez determinados los flujos de carga y de pasajeros de origen a destino, estos se asignan a la red multimodal (vial, ferrocarril, marítima y lacustre, aérea y ductos) en función del costo generalizado de cada modo de transporte (combinación de tarifas, costo operacional, costo del tiempo y valor de la seguridad para la carga y comodidad para los pasajeros). Estos costos varían en función de los flujos asignados y la capacidad de la red. Si algunos tramos de la red no tienen la capacidad suficiente, esta se congestiona y aumenta el tiempo de viaje y, por lo tanto, aumenta el costo generalizado. Ver Figura B 2.

Figura B 2: Modelo de Transporte



Fuente: Modelo Nacional, MOP-DIRPLAN, junio 1997, MECSA-MEAP-INECON

## B2: Modelo Económico Regional MER

### (i) Componentes

El Modelo Económico Regional se basa en el Modelo de Insumo-Producto (MIP) el cual se construyó a partir de las informaciones actualizadas del Banco Central transformadas a US\$ 2015 (\$654/US\$) y de la metodología de los modelos disponibles, iniciado en el Modelo Nacional<sup>3</sup>, continuando con la actualización del mismo Modelo por el MOP<sup>4</sup> y, del modelo actualizado por SECTRA<sup>5</sup>. El año de inicio de la calibración es 2015 y el año base del comienzo de la simulación es el 2020 y los futuros cortes temporales son el 2030, 2040 y 2050.

El Modelo de Insumo-Producto opera a nivel Nacional y se basa en el principio básico de que los productos vendidos por una industria son comprados como insumos en el proceso productivo de otras industrias. Estas transacciones monetarias son representadas mediante una matriz de filas (ventas) y columnas (compras) la cual tiene tres grandes componentes: Demanda Final, Demanda Intermedia y, finalmente, Cuentas que incluyen el valor agregado y las importaciones. La Matriz de Demanda Final registra las transacciones referentes a la utilización final de los bienes y servicios que consumen los Hogares (C), el Gobierno (G) y las Inversiones (Formación Bruta de Capital Fijo o FBCF) además de las exportaciones (E). La Matriz de Demanda Intermedia registra los flujos de las transacciones intersectoriales de bienes y servicios intermedios que se

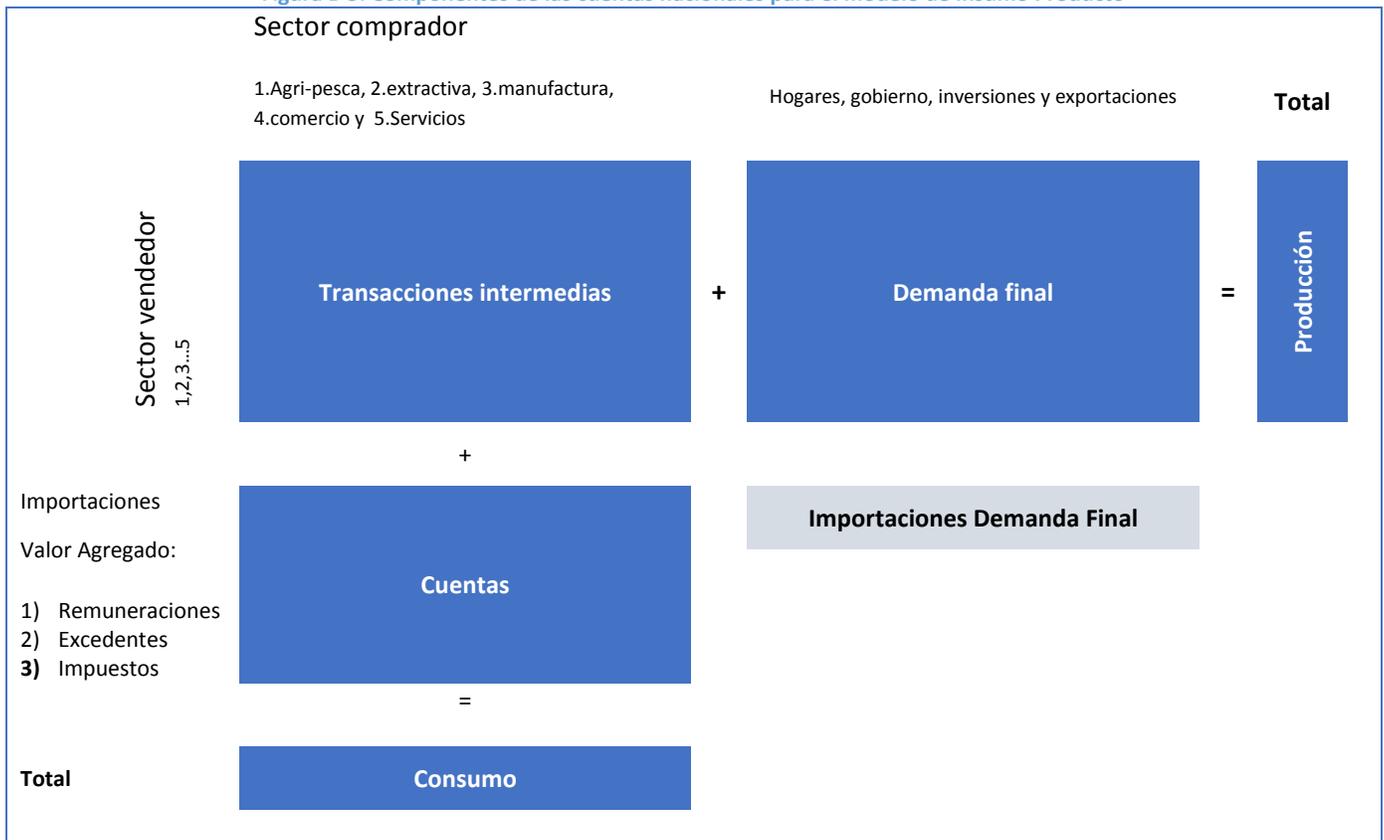
<sup>3</sup> Ver Modelo Nacional, MOP-DIRPLAN, Junio 1997, MECSA-MEAP-INECON.

<sup>4</sup> Ver Plan Director de Infraestructura MOP 2010-2025, MOP-DIRPLAN, 2009.

<sup>5</sup> Ver. Análisis Modelación de Transporte: Plan Maestro de Infraestructura, MTT-SECTRA, 2017, INECON.

requieren para poder producir y así poder satisfacer la Demanda Final. La Matriz de Cuentas describe las formas de pago a los factores productivos por su participación en el proceso de transformación, tales como las remuneraciones para la fuerza laboral (de allí se desprende la mano de obra necesaria para la producción), además de las necesidades de importación para satisfacer la Demanda Intermedia. Todo el proceso se basa en los datos del Banco Central, entidad que publica las Cuentas Nacionales. En la Figura B 3: se enseñan los componentes. Las Cuentas Nacionales incluyen sectores productivos agrupados en 12 grandes sectores. Para el MER estos sectores se agrupan en 5 ya que tienen diferencias importantes en los tipos de carga: Agrícola-Pesca, Extractiva o Minera, Manufactura, Comercio y Servicios. El consumo total de cada sector (suma de las columnas) debe ser igual a la producción total de cada sector (suma de las filas), ambos enfoques miden el nivel de actividad económica nacional.

**Figura B 3: Componentes de las cuentas nacionales para el modelo de Insumo Producto**



Fuente: Modelo Nacional, MOP-DIRPLAN, Junio 1997, MECSA-MEAP-INECON.

La Tabla B 1 resume las cuentas en los 5 sectores que se utilizan en el modelo agregando los 12 sectores publicados por el Banco Central<sup>6</sup> y transformados a US\$ para el año 2015. Se puede observar que la producción total (Valor Bruto de la Producción o VBP a precio básico) suma US\$ 428.149 millones y las importaciones totales son algo menor que las exportaciones. Las importaciones directas de la Demanda Final suman US\$ 18.889 millones. Estas no entran en el cálculo de la matriz ya que no generan una demanda por producción nacional. Es importante notar que los valores utilizados están a precios básicos, es decir, no incluyen el IVA ni

<sup>6</sup>[https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/Informes/anuarioCCNN/index\\_anuario\\_CCNN\\_2018.html?chapterIdx=-1&curSubCat=-1](https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/Informes/anuarioCCNN/index_anuario_CCNN_2018.html?chapterIdx=-1&curSubCat=-1)

los derechos de importación. A modo general, los valores son un 10% más bajo que los valores que se manejan para el PIB.

**Tabla B 1: Cuentas Nacionales 2015 en MM US\$ a precios básicos**

MM US\$ Ventas / Compras	Demanda Intermedia						Demanda Final					Producción Total VBP
	Agrícola - Pesca	Extractiva	Manufactura	Comercio	Servicios	Total Intermedia	Consumo Hogar	Consumo Gobierno	FBCF	Export.	Total Final	
Agrícola - Pesca	2.805	2	10.874	455	158	14.294	2.609	84	544	3.079	6.316	20.611
Extractiva	156	2.301	2.219	143	184	5.002	32	6	520	32.782	33.340	38.343
Manufactura	3.920	4.997	30.386	8.009	9.105	56.417	25.169	188	30.791	22.032	78.180	134.597
Comercio	1.678	2.649	10.918	18.061	7.281	40.587	44.117	678	6.446	7.091	58.332	98.919
Servicios	1.291	4.599	11.238	15.553	17.962	50.643	47.933	30.527	4.706	1.870	85.036	135.679
<b>Total Compras</b>	<b>9.850</b>	<b>14.549</b>	<b>65.634</b>	<b>42.220</b>	<b>34.690</b>	<b>166.944</b>	<b>119.860</b>	<b>31.483</b>	<b>43.008</b>	<b>66.854</b>	<b>261.205</b>	<b>428.149</b>
<b>Cuentas</b>												
Remuneraciones	3.042	3.940	18.046	21.448	47.149	93.625						Total Importaciones
Otros Valor agregado	6.133	16.984	30.297	26.159	46.433	126.005						
<b>Total Valor Agregado</b>	<b>9.175</b>	<b>20.923</b>	<b>48.342</b>	<b>47.607</b>	<b>93.582</b>	<b>219.630</b>						
Importaciones	1.586	2.871	20.620	9.092	7.406	41.575					18.889	
<b>Consumo Total</b>	<b>20.611</b>	<b>38.343</b>	<b>134.597</b>	<b>98.919</b>	<b>135.679</b>	<b>428.149</b>						

Fuente: Banco Central y elaboración propia año 2015.

En la Tabla B 2 se hace el cálculo de los salarios medios por sector dividiendo las remuneraciones de la matriz de cuentas por el número de empleos del sector estimado por la Encuesta Nacional de Empleos (ENE)<sup>7</sup>. Se puede apreciar que los salarios medios del sector agrícola-pesca son bajos, mientras que en el sector extractivo y de servicios, los salarios medios son comparativamente altos. El salario medio para el país es de US\$ 11.662 por año en 2015 a precio básico.

**Tabla B 2: Salario medio por empleado y sector 2015 a precios básicos**

	Salarios por empleado en sector					
	Agrícola - Pesca	Extractiva	Manufactura	Comercio	Servicios	Total
Remuneraciones (MM US\$)	3.042	3.940	18.046	21.448	47.149	93.625
Empleados	737.045	232.180	1.671.467	2.510.577	2.876.518	8.027.786
Salario por Empleado (US\$ Anual)	4.127	16.969	10.796	8.543	16.390	11.662

Fuente: Banco Central y Encuesta Nacional de Empleos, 2015.

### (ii) Operación del Modelo Insumo-Producto

Usando la técnica de Leontief<sup>8</sup> se estiman los coeficientes técnicos (A) dividiendo los valores de las celdas en la matriz de transacciones intermedias por el consumo total del sector. Los valores se presentan en la Tabla B 3. De esta forma se interpreta que para producir US\$1 en el sector agrícola-pesca, por ejemplo, se debe comprar US\$0,136 del mismo sector (semillas, etc.), US\$0,008 del sector minero (abonos, etc.) y US\$0,190 del sector manufactura (maquinaria, etc.). Como estas compras requieren más producción que, a su vez, generan más demandas, se produce un efecto multiplicador hasta que no se requiere más producción. El resultado de este proceso iterativo se puede obtener a través del cálculo matemático de la matriz inversa tal como se ilustra en

<sup>7</sup> Ver Encuesta Nacional de Empleos.

<sup>8</sup> Ver Leontief, Wassily W. *Input-Output Economics*. 2nd ed., New York: Oxford University Press, 1986.

la Tabla B 4. De allí se puede observar que las demandas internas de cada sector (diagonal) son mayores que 1, ya que para satisfacer las demandas finales no solo se necesita esa producción (=1) sino las demandas intermedias (para el caso Agrícola-Pesca es =0,189).

**Tabla B 3: Coeficientes técnicos**

A	Agrícola - Pesca	Extractiva	Manufactura	Comercio	Servicios
Agrícola - Pesca	0,136	0,000	0,081	0,005	0,001
Extractiva	0,008	0,060	0,016	0,001	0,001
Manufactura	0,190	0,130	0,226	0,081	0,067
Comercio	0,081	0,069	0,081	0,183	0,054
Servicios	0,063	0,120	0,083	0,157	0,132

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla B 4: Matriz inversa**

$(I - A)^{-1}$	Agrícola - Pesca	Extractiva	Manufactura	Comercio	Servicios
Agrícola - Pesca	1,189	0,021	0,128	0,022	0,013
Extractiva	0,016	1,068	0,025	0,005	0,004
Manufactura	0,324	0,215	1,359	0,159	0,116
Comercio	0,162	0,126	0,161	1,258	0,091
Servicios	0,149	0,193	0,173	0,246	1,182

Fuente: Elaboración propia.

Estimando la futura Demanda Final se calculan las Demandas Intermedias y la producción total necesarias para satisfacer. También se calculan las necesidades de importación y de mano de obra utilizando los porcentajes de la matriz de cuentas como se muestra en la Tabla B 5. Una vez obtenido el valor de las remuneraciones, se estima el empleo dividiendo este valor por el salario medio del sector. Es necesario estimar un aumento de los salarios, reflejando el aumento de la productividad laboral para tener valores más plausibles de mano de obra necesaria en el futuro.

**Tabla B 5: Distribución porcentual de compras para cada sector y Demanda Final (2015)**

Ventas	Demanda Intermedia					Demanda Final				Importación Demanda Final
	Agrícola - Pesca	Extractiva	Manufactura	Comercio	Servicios	Consumo Hogar	Consumo Gobierno	FBCF	Exportaciones	
Agrícola - Pesca	14%	0%	8%	0%	0%	2%	0%	1%	5%	0%
Extractiva	1%	6%	2%	0%	0%	0%	0%	1%	49%	0%
Manufactura	19%	13%	23%	8%	7%	21%	1%	72%	33%	67%
Comercio	8%	7%	8%	18%	5%	37%	2%	15%	11%	32%
Servicios	6%	12%	8%	16%	13%	40%	97%	11%	3%	1%
<b>Total Compras</b>	<b>48%</b>	<b>38%</b>	<b>49%</b>	<b>43%</b>	<b>26%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
Remuneraciones	15%	10%	13%	22%	35%					
Otros Valor agregado	30%	44%	23%	26%	34%					
<b>Total Valor Agregado</b>	<b>45%</b>	<b>55%</b>	<b>36%</b>	<b>48%</b>	<b>69%</b>					
Importaciones	8%	7%	15%	9%	5%					
<b>Consumo Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>					

Fuente: Elaboración propia.

### B3: Proyecciones Nacionales: Entradas al modelo

La siguiente metodología explica cómo el Modelo Insumo Producto puede medir los impactos en la Demanda Final. Este modelo teórico es la base para proyectar la matriz nacional.

Sea una economía con dos sectores como se muestra en la Tabla B 6.

Tabla B 6: Ejemplo de Matriz

	Sector 1	Sector 2	Demanda Final	Producción Total
Sector 1	$z_{11}$	$z_{12}$	$f_1$	$x_1$
Sector 2	$z_{21}$	$z_{22}$	$f_2$	$x_2$
Valor Agregado	$v_1$	$v_2$		
Producción Total	$x_1$	$x_2$		

Las ecuaciones que representan esta economía son

$$x_1 = z_{11} + z_{12} + f_1$$

$$x_2 = z_{21} + z_{22} + f_2$$

Sea

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \quad f = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{bmatrix}$$

En notación matricial

$$X = Zi + f$$

Podemos calcular la matriz de coeficientes técnicos A

$$A = \begin{bmatrix} z_{11}/x_1 & z_{12}/x_2 \\ z_{21}/x_1 & z_{22}/x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$$

En notación matricial

$$A = Z\hat{x}^{-1}$$

Donde

$$\hat{x}^{-1} = \begin{bmatrix} 1/x_1 \\ 1/x_2 \end{bmatrix}$$

Reemplazando términos en la ecuación anterior tenemos que

$$X = AX + f$$

$$X - AX = f$$

$$(I - A)X = f$$

Donde

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(I - A) = \begin{bmatrix} (1 - a_{11}) & -a_{12} \\ -a_{21} & (1 - a_{22}) \end{bmatrix}$$

Finalmente, despejando X tenemos que

$$X = \overbrace{(I - A)^{-1}}^{\text{Constante}} f$$

Entonces, si la Demanda Final ( $f$ ) aumenta por un shock exógeno la ecuación nos dice cuánto producto adicional de ambos sectores será necesario para poder satisfacerla.

En este sentido, para estimar el total del consumo y de la producción nacional futura es necesario proyectar el cambio de la Demanda Final. Para ello se utiliza el crecimiento del PIB. El Banco Central ha proyectado las tasas anuales de crecimiento del PIB para los periodos 2017- 2026 (3.2%), 2017-2036 (3%) y 2017-2050 (2.7%)<sup>9</sup>. Interpolando estas tasas se obtienen los crecimientos esperados del PIB para el año base 2020 y para los años futuros de 2030, 2040 y 2050. Las tasas son bastante moderadas, y si se superan, los resultados del modelo se alcanzarán con anterioridad al año considerado. Si, por el contrario, las tasas de crecimiento del PIB son menores a las utilizadas en este estudio, los resultados del modelo se alcanzarán después del año considerado. Las tasas de crecimiento del Banco Central se aplican a los valores del modelo que son a precios básicos, es decir sin incluir el impuesto al valor agregado (IVA) ni los derechos de importación. El valor resultante en MMUS\$ es el PIB a precios básicos (equivalente al Valor Agregado). Las estimaciones de la población futura son propias y están basadas en información del Instituto Nacional de Estadística (INE) y del Banco Central. En la Tabla B 7 se muestran los resultados para el año 2015 y para las tres futuras.

**Tabla B 7: Proyección del PIB a precios básicos (MM US\$) y Población**

	2015	2020	2030	2040	2050	Aumento 15 - 50
PIB (MM US\$)	219.630	250.672	343.727	446.681	556.343	2,6x
Población	18.750	20.972	22.593	23.580	24.329	1,3x
PIB per cápita (US\$) <sup>10</sup>	13.015	11.953	15.214	18.943	22.867	1,9x

Fuente (1) Banco Central (2017) Crecimiento tendencial de mediano plazo y análisis de sus determinantes. (2) INE (2017) Estimaciones y proyecciones de la población de Chile 1992-2050 total país. A partir del 2020 a las proyecciones del INE se le agregan las estimaciones de migraciones del Banco Central, el cual indica que la población migrante aumentaría sostenidamente.

Con las tasas de crecimiento del PIB podemos calcular las tasas de crecimiento para los distintos componentes de la demanda final desde el 2015 al 2050. Estas tasas de crecimiento son el shock exógeno.

El PIB estimado para cada corte temporal se asigna en un 91% a la demanda interna<sup>11</sup> constituida por el Consumo de los Hogares que recibe el 62% de ésta, el Consumo del Gobierno que recibe el 16% y las Inversiones o Formación Bruta de Capital Fijo (FBCF) que recibe el 22%. Estos porcentajes no han variado significativamente en los últimos decenios y pueden ser variados en el futuro de acuerdo con cambios de políticas. Se asume que las exportaciones y las importaciones estarán en equilibrio. La Tabla B 8 ilustra estos supuestos.

**Tabla B 8: Distribución del PIB (MM US\$) en demanda interna (consumo hogar, gobierno e inversiones)**

	2015	2020	2030	2040	2050
PIB - Precios Factores	219.630	250.672	343.727	447.681	556.343
Demanda Interna	194.351	221.820	304.165	396.153	492.308
Consumo Hogar	119.860	139.934	191.928	249.973	310.647
Consumo Gobierno	31.483	31.467	43.191	56.254	69.908
FBCF	43.008	50.419	69.045	89.927	111.754

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Banco Central (2015).

<sup>9</sup> Ver [https://www.bcentral.cl/documents/20143/920074/crecimiento\\_tendencial\\_sep2017.pdf](https://www.bcentral.cl/documents/20143/920074/crecimiento_tendencial_sep2017.pdf).

<sup>10</sup> Valor mercado no básico.

<sup>11</sup> El resto (9%) se utiliza para la compra directa de importaciones por los hogares, gobierno e inversiones.

Las exportaciones, que son parte de la demanda final, se estimaron como un porcentaje del crecimiento del PIB Mundial (basado en la OCDE) dando como resultado un 1,1 por 1000. Ver Tabla B 9.

Tabla B 9: Exportación de Chile en relación con el PIB mundial

Miles de MM US\$ corrientes	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Media 2003-2017
PIB mundo (A)	38.883	43.788	47.412	51.341	57.833	63.433	60.138	65.957	73.297	74.966	77.051	79.131	74.843	75.937	80.648	64.313
Exportaciones Chile (B)	26,7	39,1	49,0	67,1	77,6	75,1	63,9	82,0	94,3	90,3	88,9	85,7	71,2	70,2	79,3	71
(B/A) x 100 (%)	0,07%	0,09%	0,10%	0,13%	0,13%	0,13%	0,12%	0,11%	0,13%	0,12%	0,12%	0,11%	0,10%	0,09%	0,10%	0,11%

Fuente: (A) OCDE y (B) elaboración propia a partir de información del Banco Central.

El porcentaje sectorial de las exportaciones se asumió que variaría, bajando el sector extractivo desde el 49 al 46% del total, con el consiguiente incremento del sector manufacturero que pasa del 33 al 34,5% y del sector de servicios que sube del 3 al 4,5%. Los otros sectores se mantendrían igual. El resultado se muestra en la Tabla B 10. Estos porcentajes pueden ser cambiados en función de las inversiones sectoriales en el futuro.

Tabla B 10: Crecimiento de las exportaciones MM US\$

	2015	2020	2030	2040	2050
Agrícola	3.079	3.419	4.561	5.831	7.238
Extractiva	32.782	36.398	47.564	59.548	72.343
Manufactura	22.032	24.463	33.128	42.990	54.147
Comercio	7.091	7.874	10.503	13.429	16.669
Servicios	1.870	2.076	3.264	4.807	6.752
<b>Total</b>	<b>66.854</b>	<b>74.229</b>	<b>99.021</b>	<b>126.606</b>	<b>157.149</b>

Fuente: Elaboración propia en base a proyecciones OCDE 2050, Banco Central y MIP.

Una vez estimadas las exportaciones y la demanda interna tenemos todos los componentes de la demanda final. Siguiendo la ecuación anterior, multiplicando la nueva demanda final ( $f^{nueva}$ ) por la matriz inversa  $(I - A)^{-1}$  obtenemos el nuevo valor bruto de producción necesario para la nueva demanda ( $X^{nueva}$ ). Finalmente, para obtener la demanda intermedia ( $Z^{nueva}$ ) y el valor agregado ( $v^{nueva}$ ) utilizamos las distribuciones en la Tabla B 5.

#### B4: Resultados

Las demandas finales para cada periodo de tiempo se introducen al Modelo de Insumo Producto y de allí se derivan las demandas intermedias y la producción total. También se calculan las matrices de cuentas y de allí las importaciones y las remuneraciones.

De las remuneraciones se estiman los empleos generados dividiendo las remuneraciones sectoriales por el salario medio. El resultado genera una gran demanda de mano de obra y por lo tanto es necesario introducir un aumento de la productividad a futuro y así aumentar los salarios medios con la consiguiente reducción de la mano de obra necesaria. Basado en los estudios de la Comisión Nacional de la Productividad<sup>12</sup> se asumió un incremento progresivo de la productividad desde -0,4% a 1,5% anual para la década del 2030 en adelante, eso sí que el mayor incremento sería en el sector comercio (como está ocurriendo actualmente) y agrícola, lo que implica, así todo, un aumento de la inmigración ya que las estimaciones del INE del crecimiento de la población

<sup>12</sup> CNP (2019) Informe anual de la productividad. Chile, Comisión Nacional de Productividad

nacional no son suficientes para absorber la demanda de empleos y por eso se adoptó la estimación del Banco Central de 12.5% de población inmigrante para el 2050. Los valores totales de producción sectorial resultantes del proceso se muestran para cada año en la Tabla B 11.

**Tabla B 11: Estimación de la producción sectorial (US\$ MM)**

	2015	2020	2030	2040	2050
Agrícola - Pesca	20.611	23.296	32.066	41.566	51.712
Extractiva	38.343	42.655	56.044	70.423	85.765
Manufactura	134.597	152.400	210.600	273.551	340.657
Comercio	98.919	112.364	155.536	201.964	250.936
Servicios	135.679	154.404	207.721	270.631	337.038
<b>Total</b>	<b>428.149</b>	<b>485.119</b>	<b>661.967</b>	<b>858.134</b>	<b>1.066.107</b>

Fuente: Elaboración propia en base a resultados MIP.

### B5: Regionalización

Una vez obtenidos los valores nacionales de Producción y Consumo por sector se asignan a las regiones. El procedimiento empleado para el año de calibración 2015 fue asignar la producción sectorial proporcionalmente al PIB sectorial de la región obtenido del Banco Central. Para el año base 2020 se extrapolan los datos del 2017. Para los años futuros la producción regional se modifica de acuerdo con las previsiones de producción Agrícola-Pesca<sup>13</sup> y del sector Extractivo<sup>14</sup>. Para el sector Manufacturero se extrapoló la tendencia de los últimos años. Para los demás sectores su localización se modifica en función de la distribución de la carga de transportes. De esta manera, el transporte es también un determinante para la localización de la producción para satisfacer la demanda, sobre todo de comercios y servicios.

El consumo de la Demanda Final se asigna para el gasto de Hogares en función de la población regional y su ingreso per cápita estimada por el modelo; para el gasto de Gobierno se asigna en proporción a la población regional; para las inversiones se asigna en función de la información extrapolada de futuras inversiones. El consumo de la Demanda Intermedia se estima usando los coeficientes técnicos aplicados a la producción regional asignada. Los resultados del proceso de regionalización se muestran en la Tabla B 12 para el año de calibración 2015.

**Tabla B 12: Producción (Origen) y Consumo (Destino) Sectorial Regionalizado 2015 (MMUS\$)**

	2015	Agrícola - Pesca	Extractiva	Manufactura	Comercio	Servicios
Arica	Producción	282	115	928	875	1.338
	Consumo	145	31	817	753	1.247
Tarapacá	Producción	158	3.268	2.135	1.986	2.399
	Consumo	339	304	5.674	2.792	3.543

<sup>13</sup> Ver "Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile" realizado por la Dirección General de Aguas. MOP (2017), basada en las superficies agrícolas bajo riego para los años futuros. Además de las estimaciones de pesca y bosques.

<sup>14</sup> Ver "Proyección de la producción de cobre en Chile 2018-2029" de la Comisión Chilena del Cobre (2017). Las actividades extractivas no cobre se mantuvieron.

	2015	Agrícola - Pesca	Extractiva	Manufactura	Comercio	Servicios
Antofagasta	Producción	67	18.837	11.242	3.859	5.940
	Consumo	1.267	1.398	12.027	8.358	10.890
Atacama	Producción	327	3.466	3.393	994	2.323
	Consumo	435	312	4.508	2.460	3.249
Coquimbo	Producción	1.223	2.773	2.710	2.076	3.706
	Consumo	511	256	3.980	2.796	4.472
Valparaíso	Producción	2.016	2.886	17.176	8.957	11.315
	Consumo	1.991	522	9.628	8.462	12.613
Metropolitana de Santiago	Producción	2.132	2.805	48.219	61.555	74.922
	Consumo	5.934	1.337	42.055	41.736	59.787
O'Higgins	Producción	3.448	3.679	6.360	2.798	4.925
	Consumo	1.171	400	6.466	4.457	6.518
Maule	Producción	2.385	357	5.935	2.557	4.684
	Consumo	934	163	4.121	3.206	5.345
Ñuble	Producción	639	1	4.244	1.363	2.499
	Consumo	507	97	2.783	1.829	2.811
Biobío	Producción	2.136	3	14.179	4.554	8.349
	Consumo	1.678	308	8.356	5.912	9.182
Araucanía	Producción	1.348	0	3.980	2.317	4.606
	Consumo	619	105	3.476	2.627	4.556
Los Ríos	Producción	825	0	2.749	1.094	1.922
	Consumo	388	63	1.765	1.330	2.116
Los Lagos	Producción	2.333	0	8.333	2.614	4.373
	Consumo	1.126	182	4.694	3.456	5.198
Aysén	Producción	945	21	661	403	863
	Consumo	206	24	773	586	813
Magallanes y A. Ch.	Producción	347	131	2.354	917	1.515
	Consumo	281	59	1.441	1.069	1.471

Fuente: Elaboración propia en base a resultados MIP.

### B6: Estimación de la Carga

Una vez estimada la producción y consumo regional se calculan los porcentajes de aumento de la producción y del consumo de la carga por sector y región. Estos porcentajes se aplican a los orígenes y destinos de toneladas para los años futuros. Con estos vectores de Origen y Destino se estiman las nuevas matrices de distribución por el mismo procedimiento de calibración bi-proporcional basado en el costo generalizado para cada periodo de tiempo.

## B7: Estimación de Pasajeros

### a) Desagregación de vectores regionales

El proceso de estimación de matrices de viajes zonales considera en primer término la desagregación de los vectores regionales construidos por el modelo insumo-producto. Estos vectores parten del supuesto que cada persona realiza un total de 2,61 viajes diarios, con lo que se obtiene un total de 16.769 millones de viajes anuales.

Estos viajes son posteriormente desagregados en viajes laborales y festivos. Luego, se procede a estimar la cantidad de viajes generados y atraídos por cada zona del modelo. El enfoque empleado consiste en dividir los viajes asumiendo que la mitad de ellos son de ida a desarrollar actividades y la mitad son de vuelta desde estas actividades.

Considerando que en el viaje de ida los viajes se generan por los hogares, la división de los viajes regionales a viajes zonales se realiza a partir de la población de cada zona en relación con el total regional, mientras que la atracción es desagregada de acuerdo con la disponibilidad de empleo en cada zona (asumiendo que este es un buen descriptor de las actividades en el destino).

A partir de estos antecedentes, se obtienen los vectores en un sentido de viaje, lo que permite estimar la matriz para este conjunto de vectores, para luego estimar la matriz en sentido contrario transponiendo los vectores. Esto permite estimar matrices consistentes con las actividades.

A modo de ejemplo, en la Región Metropolitana de Santiago, la zona correspondiente a Santiago Centro posee una población más bien baja y una alta tasa de empleos, con lo cual el modelo asumirá que se realiza una gran cantidad de viajes desde las zonas residenciales hacia el centro de Santiago, para luego retornar.

### b) Viajes al extranjero

Los vectores presentados corresponden al total de viajes que realizan los habitantes del país y no consideran los viajes hacia y desde el extranjero. Dichos viajes son registrados tanto por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) como por el Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR) y se encuentran desagregados por el país de origen o destino de los viajes. A continuación, se presenta el total de viajes de este tipo para el año 2017.

Tabla B 13: Salidas de viajes internacionales 2017

Origen o Destino	Viajes anuales
Bolivia	144.230
Argentina	2.706.681
Perú	1.495.827
Resto del mundo	6.371.726
<b>Total</b>	<b>10.718.464</b>

Fuente: CIPRES (2019) Asesoría para la Modelación del Plan Nacional de Movilidad 2020-2050, MOP DIRPLAN 2019

Estos viajes son agregados en forma exógena a la matriz y para fines de estimación de la distribución de los viajes, estos se estiman de acuerdo con la generación y atracción a nivel de zonas. Los viajes futuros se expanden en función del crecimiento de la población y del PIB para los viajes al extranjero y en función del incremento de las exportaciones de comercios y servicios para los viajes desde el extranjero.

c) Estimación de matrices de pasajeros

De acuerdo con los antecedentes construidos, en un día laboral se producen 48,86 millones de viajes diarios, mientras en fin de semana, se producen 38,66 millones de viajes diarios, con lo cual en un año se obtendría un total de 16.700 millones de viajes.

De estos viajes, la mayor proporción corresponde a viajes realizados al interior de la región e incluso al interior de la comuna (o zona), los que corresponden a viajes al trabajo o estudio (habitualmente corresponden a viajes relacionados con actividades urbanas).

Para fines de estimación de matrices se asume, sobre la base de la encuesta de Origen Destino de Santiago que el porcentaje de viajes de corta distancia corresponde a un 97,7% de los viajes, mientras que el 2,3% restante corresponde a viajes interregionales. Considerando estos dos tipos de viajes, se construyen cuatro matrices de viajes, distinguiendo entre viajes intrarregionales e interregionales, para días laborales y festivos.

Empleando los vectores mencionados en el punto anterior, se procede a construir las matrices empleando un modelo simplemente acotado, tomando como restricción los viajes generados y dejando en forma libre el destino, tomando como factor de atracción los viajes atraídos estimados. La forma funcional para este modo es la siguiente:

$$T_{ij} = A_i O_i W_j e^{-\beta c_{ij}}$$

donde,

$$\sum_j T_{ij} = O_i$$

$$W_j = D_j$$

De esta manera, la matriz es estimada considerando como variables los valores de  $A_i$  y considerando los siguientes valores de Beta:

Beta intrazonal	0,00436
Beta interzonal	0,00008

Los valores de Beta, al igual que el porcentaje de viajes interregionales, fueron determinados de forma tal de construir matrices que sean capaces de reproducir los niveles de flujo observados en la red vial de modelación.

Las matrices son asignadas considerando la distribución por estrato de ingreso considerada en el marco del estudio “Análisis modelación de transporte plan maestro de infraestructura, SECTRA 2017”. A continuación, se presenta la distribución considerada:

**Tabla B 14: Distribución por estrato de ingreso propuesta 2017**

Estrato	Distribución
Bajo	31%
Medio	39%
Alto	30%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Fuente: CIPRES (2019) Asesoría para la Modelación del Plan Nacional de Movilidad 2020-2050, MOP DIRPLAN 2019.

Finalmente, se presentan las matrices de pasajeros construidas en la Tabla B 15.

Tabla B 15: Pasajeros totales anuales 2017 (MM)

Región-País	Tarapacá	Antofagasta	Atacama	Coquimbo	Valparaíso	O'Higgins	Maule	Biobío	Araucanía	Los Lagos	Aysén	Magallanes y A Ch.	RMS	Los Ríos	Arica y P.	Ñuble	Argentina	Perú	Bolivia	Resto del Mundo	Total
Tarapacá	315,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	315,6
Antofagasta	0,3	579,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	580,1
Atacama	0,0	0,0	271,5	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	272,6
Coquimbo	0,0	0,0	0,4	711,6	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,3	718,1
Valparaíso	0,0	0,0	0,1	1,3	1.703	1,5	0,9	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	18,6	0,0	0,0	0,2	0,3	0,2	0,0	0,7	1.728
O'Higgins	0,0	0,0	0,0	0,1	1,5	854,5	1,0	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	9,4	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,3	868
Maule	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	1,0	977,2	1,6	0,5	0,0	0,0	0,0	7,7	0,0	0,0	0,8	0,2	0,1	0,0	0,4	990,3
Biobío	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6	1,6	1.467,5	3,5	0,3	0,0	0,0	3,1	0,4	0,0	2,8	0,2	0,1	0,0	0,6	1.481
Araucanía	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,5	3,5	903,1	1,2	0,0	0,0	0,7	1,6	0,0	0,9	0,1	0,1	0,0	0,3	912,2
Los Lagos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,2	801,1	0,0	0,0	0,1	1,7	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,3	804,9
Aysén	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,6
Magallanes y A Ch.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	158,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	159,0
Metropolitana de Santiago	0,0	0,0	0,4	4,2	18,6	9,4	7,7	3,1	0,7	0,1	0,0	0,0	6.775,3	0,2	0,0	2,1	1,1	0,6	0,1	2,6	6.826,1
Los Ríos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,6	1,7	0,0	0,0	0,2	362,7	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	366,9
Arica y P.	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	214,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	215
Ñuble	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,8	2,8	0,9	0,1	0,0	0,0	2,1	0,1	0,0	451,6	0,1	0,0	0,0	0,2	459
Argentina	0,1	0,1	0,0	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	1,1	0,1	0,0	0,1	-	-	-	-	2,7
Perú	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-	1,5
Bolivia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-	0,1
Resto del Mundo	0,1	0,2	0,1	0,3	0,7	0,3	0,4	0,6	0,3	0,3	0,0	0,1	2,6	0,1	0,1	0,2	-	-	-	-	6,4
<b>Total</b>	<b>315,6</b>	<b>580,1</b>	<b>272,6</b>	<b>718,1</b>	<b>1.728</b>	<b>868,0</b>	<b>990,3</b>	<b>1.481</b>	<b>912,2</b>	<b>804,9</b>	<b>83,6</b>	<b>159</b>	<b>6.826,1</b>	<b>366,9</b>	<b>215</b>	<b>459</b>	<b>2,7</b>	<b>1,5</b>	<b>0,1</b>	<b>6,4</b>	<b>16.791,2</b>

Fuente: CIPRES (2019) Asesoría para la Modelación del Plan Nacional de Movilidad 2020-2050, MOP DIRPLAN 2019.

## B8: Repartición Modal y Asignación a la Red Multimodal

Los flujos resultantes de la distribución de origen a destino se reparten en dos modos primordiales para la carga y también para los pasajeros:

Para la carga los dos modos primordiales son: (i) camión pesado con combinación a ferrocarril de carga y a barco y (ii) camión liviano con combinación a ferrocarril de carga y a barco. Los pasajeros se reparten en dos modos primordiales: (i) privado (autos) con combinación a ferrocarril de pasajeros y avión y (ii) modo público (bus) con combinación a ferrocarril de pasajeros y avión.

El método de repartición se basa en un modelo Logit cuya variable independiente es el costo generalizado de transporte por modo. El parámetro que representa la elasticidad de la demanda con respecto al costo se calibra para acercarse a los datos observados en los peajes y en otros puntos de conteo.

Para fines de construcción de la red multimodal de modelación se tomó como punto de partida el modelo que fue construido por el Ministerio de Obras Públicas en el marco del Plan Director de Infraestructura en el año 2009. Este modelo posteriormente fue adaptado y actualizado por SECTRA y el Ministerio de Transportes, en el marco del estudio “Análisis modelación de transporte plan maestro de infraestructura” del año 2017. Se hizo una actualización del modelo, considerando los siguientes elementos:

- Se utilizó el software TransCAD (ver <https://www.caliper.com/tcovu.htm>).
- Se rezonificó la red, agregando las zonas desde el nivel comunal al nivel provincial y generando cuatro zonas adicionales, correspondientes a Argentina, Bolivia y Perú y resto del mundo.
- Se codificaron arcos que representan viajes al extranjero (eliminando las antiguas zonas aeropuerto, puerto y pasos fronterizos)
- Se incluyó una red secundaria en las zonas metropolitanas de Santiago, Valparaíso y Concepción tipo *spider*.
- Se incorporaron valores actualizados para la percepción del tiempo de viaje. Para estos efectos, se emplearon los antecedentes construidos en dos estudios sobre valoración del tiempo de viaje:
  - “Estimación de valores sociales del tiempo de viaje de pasajeros interurbanos utilizando nuevas formulaciones de modelos de demanda”. SECTRA (2012).
  - Estimación de valores del tiempo para los envíos terrestres de carga. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (2013).
- Consistente con el ajuste del valor del tiempo de los usuarios, se procedió a actualizar tarifas y costos de operación al año 2017, en pesos de dicho año.

Las matrices construidas mediante los vectores zonales fueron asignadas al modelo de transporte, el que permite estimar flujo vehicular y de transporte en los distintos arcos de la red de modelación. El proceso de ajuste de las matrices consideró modificar los parámetros con los cuales fueron construidas las matrices de pasajeros, las que en el caso del transporte de pasajeros corresponden al porcentaje de viajes intrazonales y los parámetros de impedancia al costo  $\beta$ . En el caso del transporte de carga, se modifican parámetros de impedancia al costo asociados a cada tipo de carga. Para fines de ajuste de los viajes internacionales, el proceso considera el ajuste de los parámetros de costo asociado a los arcos externos.

El proceso considera en forma secuencial la estimación del ajuste a nivel nacional, para luego realizar el ajuste del transporte internacional, (tanto marítimo como terrestre). A continuación, se presentan los resultados del ajuste, donde se puede observar en cada caso un R2 es superior a 0,8:

Gráfico B 1: Resultado calibración pasajeros internos

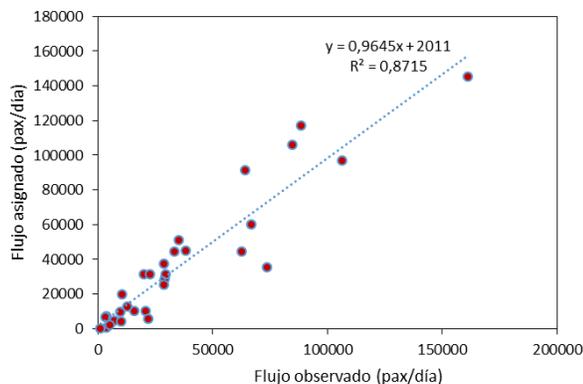


Gráfico B 2: Resultado calibración carga

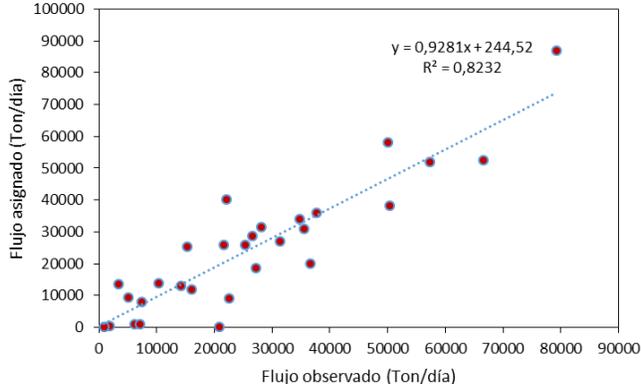


Gráfico B 3: Resultado calibración Aeropuertos

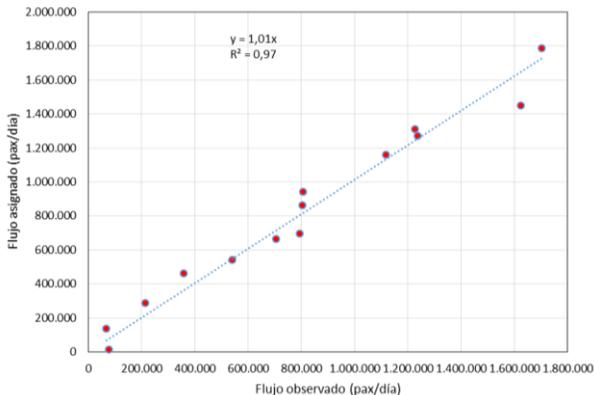
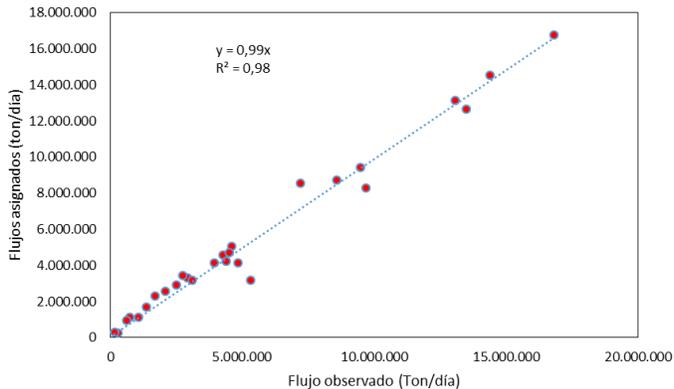


Gráfico B 4: Resultado calibración Puertos



Fuente: CIPRES (2019) Asesoría para la Modelación del Plan Nacional de Movilidad 2020-2050, MOP DIRPLAN 2019.

### B9: Resumen de Resultados de la Simulación 2017-2050

Utilizando el modelo calibrado en el 2017 se proyecta la demanda de viajes de pasajeros y de carga a los cortes temporales futuros usando el Modelo Económico-Regional, se reparten los viajes a los modos de transportes y se asignan a las rutas a través del Modelo de Transportes. La simulación Base hasta el 2050 considera la red con los tramos en operación al 2020 y con las políticas de regulaciones y precios existentes. La única salvedad son los puertos cuyas capacidades se expanden de acuerdo con la demanda en los puertos privados y de acuerdo con los planes de inversión en los puertos del Estado. La expansión de los puertos es necesaria ya que, si no se hiciesen, las exportaciones e importaciones no se podrían hacer, con la consecuente imposibilidad de crecer la demanda final al nivel estimado.

Aunque algunos proyectos de inversión se encuentran en distintas fases de aprobación y/o construcción, se tomó la decisión de introducirlos como parte del Plan y no considerarlos como parte de la Base, ya que necesitan recursos financieros durante los próximos años.

Los proyectos que forman parte de la Imagen Objetivo inicial se han incluido en las simulaciones y han sido modificados en función de las evaluaciones (Ver Apéndice C) para llegar a un conjunto de proyectos de inversión, regulación y precios que conforman el Plan propuesto.

La Tabla B 16 muestra el número de pasajeros anuales abordando el modo respectivo para el año 2017 y la simulación de la Base y del Plan al año 2050. Se puede observar que el número de pasajeros en auto sube al doble desde 2017 al 2050, mientras que el uso del bus baja en 40%. El uso del tren aumenta, sobre todo con el plan en 9 veces. El uso del avión aumenta en 3,7 veces en el caso Base. En el Plan los viajes en avión en 2050 disminuyen en 18% en relación con la Base por la mejoría de los transportes terrestres.

**Tabla B 16: Pasajeros totales anuales abordando el modo**

	2017	Base 2050	Plan 2050
Automóvil	9.300.152.955	18.201.168.021	18.194.889.948
Bus	8.661.261.622	5.226.867.275	5.229.341.494
Tren	21.550.770	127.932.855	194.157.107
Metro	858.498.497	1.407.312.050	1.471.225.523
Avión	15.811.732	66.329.889	54.575.038
<b>Total</b>	<b>18.857.275.577</b>	<b>25.029.610.090</b>	<b>25.144.189.110</b>

Fuente: Elaboración propia

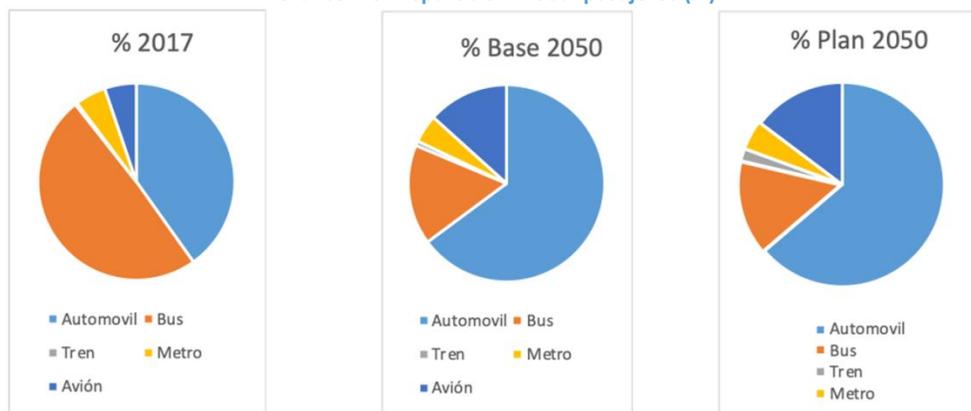
La Tabla B 17 muestra la estimación de la repartición modal medida en pasajero-km para el año 2017 y las simulaciones al año 2050 para la Base y para el Plan. Se observa que la movilidad en auto aumenta en 3 veces, el bus baja en 43%, mientras que el tren, en el Plan, aumenta en más de 10 veces. Se puede observar que la movilidad en avión aumenta sobre la base 2050, aunque el número de pasajeros disminuye (ver Tabla B 16) lo que significa que los viajes de larga distancia aumentan, en cambio, los de media distancia disminuyen.

**Tabla B 17: Repartición modal pasajeros-km totales anuales**

	2017	Base 2050	Plan 2050
Automóvil	98.855.933.912	308.552.872.605	303.282.164.055
Bus	121.106.523.982	78.164.989.420	70.892.429.459
Tren	856.504.827	3.638.168.756	9.144.224.918
Metro	12.509.207.939	21.953.921.542	22.240.863.758
Avión	12.824.055.216	63.422.771.677	70.230.694.890
<b>Total</b>	<b>246.152.225.876</b>	<b>475.732.724.000</b>	<b>475.877.377.080</b>

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico B 5: Repartición modal pasajeros (%)**



Fuente: Elaboración propia

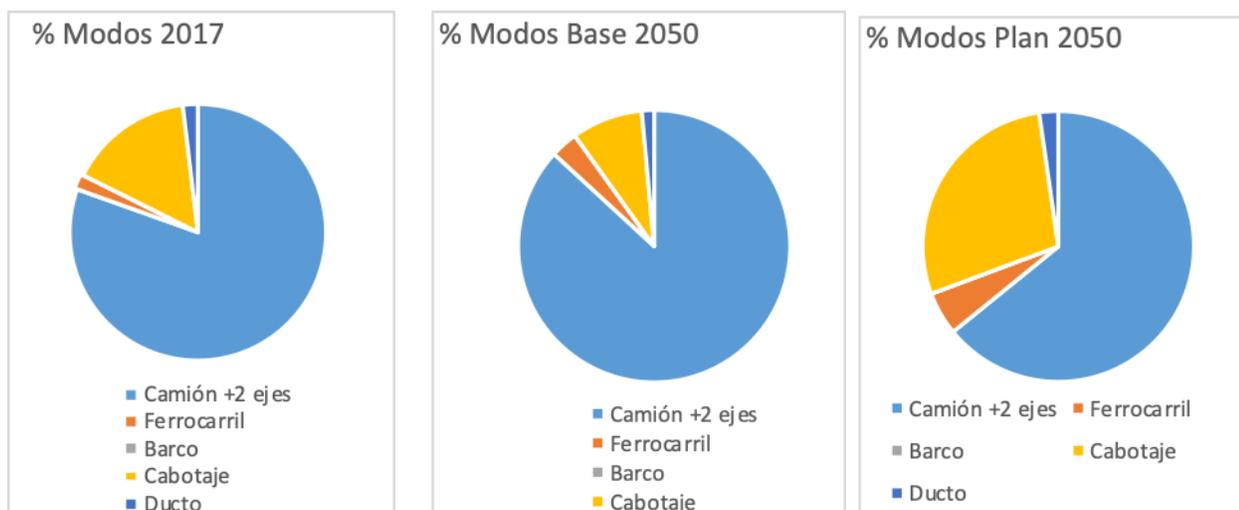
Con relación a la carga, la Tabla B 18 muestra las estimaciones de las toneladas-km transportadas por los distintos modos de transporte para el año 2017 y 2050 para la Base y para el Plan. El Gráfico B 6 presenta la repartición modal estimada. Es interesante notar que la política de desregulación del cabotaje tiene un fuerte impacto en la repartición modal, especialmente en el uso del camión. También el uso del ferrocarril contribuye a la reducción del uso del camión.

**Tabla B 18: Repartición modal de carga en millones de toneladas-km totales anuales**

	2017	Base 2050	Plan 2050
Camión	56.174	155.766	126.273
Ferrocarril	1.348	5.831	10.173
Cabotaje	11.119	15.147	54.875
Ducto	1.331	2.621	4.430
<b>Total</b>	<b>69.972</b>	<b>179.365</b>	<b>196.135</b>

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico B 6: Porcentaje de Repartición modal carga**



Fuente: Elaboración propia

### B10: Fortalezas y Debilidades del Modelo

La gran fortaleza del Modelo combinado Económico-Regional (MER) y de Transporte es su carácter sistémico. Todos los factores modelados están relacionados entre sí. Así, por ejemplo, las cargas son resultado de la localización de la producción y del consumo. Estos, a su vez, se relacionan con el crecimiento de la economía nacional. Los viajes de pasajeros también están relacionados con la producción, en donde están los empleos. Las cuentas nacionales, que es la base del modelo, conforman un marco de referencia que no permite proyecciones parciales independientes del total. El resultado es un conjunto de estimaciones de carga y pasajeros coherentes con las expectativas de crecimiento y su distribución regional.

El modelo, como todos los modelos, son representaciones aproximadas de la realidad que dependen de las hipótesis que se utilizan para proyectar las variables exógenas al modelo (escenarios) y los postulados que se empleen sobre el comportamiento de las personas y de la economía. Hay algunos aspectos que pueden ser mejorados en el futuro. Dentro del Modelo Económico Regional (MER), los siguientes:

- I. El Modelo parte del escenario del crecimiento del PIB. Dado este supuesto, se estima la demanda por bienes y servicios y su transporte. Sin embargo, si la congestión aumenta por la falta de infraestructura, los costos de producción aumentarían y, por lo tanto, la demanda por estos bienes y servicios bajaría con la consecuente reducción del PIB. El modelo no es capaz de estimar este impacto directamente, ya que depende de cómo los precios de los bienes y servicios del país se comparan con los precios del resto del mundo, afectando tanto las exportaciones como las importaciones. Con otros métodos alternativos se puede estimar el impacto aproximado de no hacer el Plan, asumiendo que los beneficios estimados no se producirían y, por lo tanto, el PIB bajaría en la misma cantidad (mínimo 10%). Este aspecto amerita un mejor cálculo en el futuro. Lo que sí consigue el Plan es que la movilidad de los pasajeros y de la carga sean compatibles con el aumento del PIB.
- II. Los coeficientes técnicos del Modelo Insumo-Producto se mantienen constantes en el tiempo y pueden variar en el futuro con cambios tecnológicos. Estos cambios pueden ser significativos al interior de los sectores, pero por ser el modelo agregado en pocos sectores, se espera que estos cambios no sean muy significativos entre ellos. También los coeficientes pueden variar por cambios de precios entre estos sectores, aunque el mayor cambio se produce en la sustitución de la mano de obra por tecnología. Esto último se ha tenido en consideración al ajustar la productividad laboral. Otro factor que se espera que afecte al crecimiento futuro es la importancia del sector servicios al tomar en consideración el aumento de las exportaciones de este sector, pero puede ser más significativo que lo que se ha asumido.
- III. Estimación de la población regional futura: Se usaron las proyecciones del INE a nivel nacional que no incluyen futuras migraciones. Para paliar este defecto, se utilizaron las proyecciones del Banco Central para la inmigración (12,5% inmigrantes en 2050). El MER asume que la demanda por empleos será satisfecha por inmigrantes si no hay suficiente población nacional y como este total (nacional + inmigración) tiene un techo, se asumió que la productividad laboral se incrementaría de modo que la fuerza de trabajo no pasaría del techo impuesto. Se adoptó una tasa promedio de 1,5% anual de incremento de productividad, mayor en los sectores de comercio y agrícola, menor en los demás sectores. Este supuesto tiene que revisarse en el futuro.
- IV. Estimación de inversiones sectoriales en regiones que pueden cambiar la localización de la producción futura: Actualmente se cuenta con algunas estimaciones solo para la próxima década.

Con respecto al Modelo de Transporte, se espera que este represente la movilidad de la carga y de los pasajeros con sus reparticiones modales, respectivamente. Existen algunos cuestionamientos en los siguientes aspectos:

- I. La hipótesis que la movilidad de la carga es directamente proporcional a la producción es consistente con las informaciones nacionales e internacionales. Con respecto a los pasajeros, se espera que la movilidad de éstos aumente con el aumento del ingreso, aunque en menor medida. La repartición modal indica que el aumento del uso del auto y de los aviones se corresponde con las informaciones existentes sobre comportamiento de los pasajeros en otros países más desarrollados. Algunos autores han sostenido la hipótesis del desacoplamiento de estos factores, aunque esto aún no ha sido demostrado<sup>15</sup>. En esta línea

---

<sup>15</sup> Ecola, L. y M. Wachs, "Exploring the Relationship Between Travel Demand and Economic Growth", 2012, FHA, Washington, DC and Rand; y Stead, D. y D. Banister "Decoupling the link between economic growth, transport growth and transport energy consumption in Europe, 2003, ECEEE Summer Study

existen algunos estudios que se han revisado, específicamente para Gran Bretaña y Singapur<sup>16</sup>. Estos trabajos se han concentrado en la movilidad terrestre nacional, sin considerar el comercio internacional el cual ha sido el gran propulsor del crecimiento y, por lo tanto, ignoran el comercio marítimo, aéreo y terrestre de los países que tienen relación comercial con esas islas. La forma correcta de ver la relación entre crecimiento y movilidad es tomar unidades geográficas mayores para captar las relaciones comerciales más importantes como lo hace la Unión Europea<sup>17</sup>.

- II. Existe incertidumbre sobre el impacto de la introducción de nuevas tecnologías de comunicación (teletrabajo, telecompras, teleestudios, etc.) en la movilidad de las personas. No se sabe cómo la introducción de la automatización de los vehículos puede afectar a la movilidad. En el modelo se ha asumido que estas innovaciones, no alterarán fundamentalmente la movilidad total<sup>18</sup>. Se supone que se producirá sustitución de algunos viajes, pero se verán compensadas por aumento de longitud de los viajes como se produjo con la introducción del teléfono en el siglo pasado<sup>19</sup>.
- III. El modelo de transporte por su carácter estratégico tiene un total de zonas acotadas de transporte. Aunque el modelo genera y distribuye la totalidad de la movilidad de pasajeros y de la carga - desde donde se originan hasta donde se destinan - por su carácter interurbano, solo estima en detalle el 72% de la movilidad modal de los pasajeros y 98% de la movilidad modal de la carga, ya que el resto se queda dentro de las zonas del modelo que cubren el territorio nacional. Con un mayor número de zonas la precisión del modelo podría mejorar con relación a la asignación del tráfico a la red multimodal usada.

---

<sup>16</sup> McKinnon, A.C. "Decoupling of Road Freight Transport Economic Growth Trends in the UK: An exploratory Analysis" en *Transport Reviews*, 2007

<sup>17</sup> EU Transport in Figures, Statistical pocket book, European Commission

<sup>18</sup> Mokhtarian, PL (1991) An Empirical Analysis of the Transportation Impacts of Telecommuting, University of California, Davis. La estimación más optimista, considerando el 50% de las personas en tele-trabajo la movilidad se reduciría en menos del 1% (ver Shabanpour, R. et al. "Analysis of telecommuting behaviour and impacts on travel demand and the environment" en *Transportation Research Part D Transport and Environment*, 2018)

<sup>19</sup> Ver "The impact of e-commerce on transport in Europe and possible actions to be taken to meet increased demand", *Transport Series TRAN 111 EN*, 2002, European Parliament, Luxembourg.

## Apéndice C: Sistema de Evaluación

### C1: Enfoque de Sostenibilidad en la Evaluación

El proceso de evaluación consiste en comparar el Plan frente a la Base, es decir, no implementar el Plan. No se puede evaluar un Plan por sí solo. La comparación se hace en función de los objetivos que se desean alcanzar con el Plan. Estos objetivos se reflejan en indicadores que miden hasta qué punto se avanza en conseguirlos.

El Plan tiene por objetivo disponer de una infraestructura sostenible, que contribuya a un aumento del bienestar y calidad de vida de todos los chilenos, y con ello aportar a que el país pueda al año 2050 doblar el Producto Interno Bruto de Chile en la forma más económicamente eficiente y territorialmente equitativa con el mínimo impacto ambiental. De este objetivo general se desprenden indicadores que se resumen a continuación:

- I. **Eficiencia económica**, se mide por **costo-beneficio**, arrojando la rentabilidad social del Plan.
- II. **Equidad territorial**, se mide por la **distribución de los beneficios e infraestructura** en las regiones.
- III. **Impacto Ambiental**, se mide por **emisiones de carbono y protección del patrimonio ambiental**.

Un Plan es sostenible en el tiempo siempre que considere estos 3 criterios ya que, si falta alguno, el Plan corre el peligro de no hacerse, por ejemplo, que la rentabilidad social sea menor que la tasa mínima impuesta por el Gobierno o, que sus beneficios se concentren en algunas regiones del País en detrimento de las otras o, que el impacto ambiental sea muy negativo el cual generará oposición de grupos o contrario a los acuerdos suscritos por el país.

### C2: Eficiencia Económica: Rentabilidad Social

En la mayor parte de los países la eficiencia económica se mide por un análisis de costo-beneficio. El costo es la inversión a precios sociales (excluyendo impuestos) y los beneficios son el ahorro de recursos, tal como, el ahorro de tiempo, combustibles, desgaste de materiales, etc. Los beneficios deben, idealmente, incluir las externalidades positivas y negativas, tal como reducción de accidentes, contaminación, congestión, etc. También la resiliencia podría incluirse si se mide el costo de un evento catastrófico (natural o accidental). La suma de los beneficios se compara con el costo de inversión, lo que da la **rentabilidad social**. Además, es útil estimar la rentabilidad privada para ver si los proyectos pueden ser concesionados y así reducir la inversión pública.

Los parámetros usados para la evaluación de la rentabilidad social del Plan son los del Ministerio de Desarrollo Social y Familia (ver Precios Sociales 2020, Sistema Nacional de Inversiones, Marzo 2020). La Tabla C 1 enseña los valores sociales del tiempo en pesos utilizados para los consumos de tiempo estimados. Estos valores fueron debidamente convertidos a US\$ (2015). La evaluación se ha reducido a valorar los ahorros de tiempo de los usuarios.

Tabla C 1: Valor Social del Tiempo Interurbano

Tipo Vehículo	VST (\$/hora)	Unidad
Terrestre	7.643	Por pasajero
Aéreo	16.110	Por pasajero
Camión	9.231	Por Vehículo

Fuente: Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MDSF) (2020)

Para los costos de inversión, éstos se corrigen por un factor de 0,78 para transformar los precios de mercado a precios sociales usando los parámetros nacionales del MDSF (factor de corrección de Mano de Obra) y se utiliza la tasa social de descuento de 6% para transformar los beneficios y costos a Valor Presente. Los resultados a nivel nacional son importantes con tasas de rentabilidad social sobre el 40% lo que indica que los beneficios cubren los costos de inversión en poco más de dos años<sup>20</sup>.

- Vialidad

Los costos de inversión y los beneficios están calculados según las metodologías de evaluación técnica de proyectos de inversión pública del Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MDSF)<sup>21</sup>. La Tabla C 2 resume la evaluación social de la Vialidad. Se observa que la tasa interna de retorno (TIR) es alta debido al estado de la base comparativa, la cual se encuentra para el año 2050 muy congestionada. El costo total es de US\$ 34.212 millones para la vialidad y de US\$ 3.969 millones para aeropuertos. En vialidad los costos unitarios varían por tipo de infraestructura vial siendo las orbitales las más caras con un costo cercano a US\$ 6 millones por km, pero generando una alta rentabilidad social de 60% dentro del conjunto de iniciativas que conforman el Plan. En contraste los corredores viales longitudinales costero e interior presentan una inversión de US\$ 0,7 a 1,4 millón por km con una rentabilidad social del 10 al 40% dentro del conjunto de iniciativas que conforman el Plan. El corredor longitudinal central (Ruta 5) presenta una inversión de US\$ 3,3 millones debido a altos estándares requeridos.

**Tabla C 2: Resumen de evaluación económica por tipo de Infraestructura vial (MMUS\$)**

Tipo de Vialidad	Inversión Precios Mercado MMUS\$	Inversión Precios Sociales MMUS\$	Beneficios netos actualizados MMUS\$	Tasa Interna de retorno TIR	Longitud km	Costo MM US\$/km
Longitudinal Central	10.820	8.440	61.972	45,7%	3.260	3,32
Longitudinal Costero	2.974	2.320	3.550	12,8%	2.105	1,41
Longitudinal Interior	4.269	3.330	22.039	41,6%	6.520	0,65
Transversales	11.082	8.644	25.174	21,1%	6.479	1,71
Longitudinal interna	1.535	1.197	4.463	27,1%	776	1,98
Orbitales	3.531	2.755	15.113	60,1%	612	5,77
<b>Total Vialidad</b>	<b>34.212</b>	<b>26.686</b>	<b>132.311</b>	<b>35,0%</b>	<b>19.752</b>	<b>1,73</b>

Fuente: Elaboración propia.

- Aeropuertos

Los resultados de la evaluación de aeropuertos se presentan en la Tabla C 3. Se incluye una primera aproximación de implementación de un segundo aeropuerto en la Macrozona Central. La superficie indicada es de los terminales, considerando además que muchos aeropuertos presentan ampliaciones de pistas e incluso nuevas pistas de rodaje.

<sup>20</sup> Es interesante que los resultados obtenidos en este estudio coinciden con otros estudios con metodologías diferentes que involucran sofisticados modelos económicos (ver [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3194481](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3194481))

<sup>21</sup> Ver “Precios Sociales Vigentes Año 2018”, Ministerio de Desarrollo Social, 2018

**Tabla C 3: Resumen de evaluación económica de aeropuertos (MMUS\$)**

Aeropuertos	Superficie m2	Inversión Precios Mercado MMUS\$	Inversión Precios Sociales MMUS\$	Beneficios MMUS\$	TIR
País	1.072.483	3.969	3.096	31.556	62%

Fuente: Elaboración propia.

- Otras Infraestructuras

La rentabilidad de puertos y ferrocarriles no se han incluido, dependen de otros ministerios y entidades del Estado.

### C3: Equidad Territorial: Distribución de Beneficios e Inversiones en el Territorio.

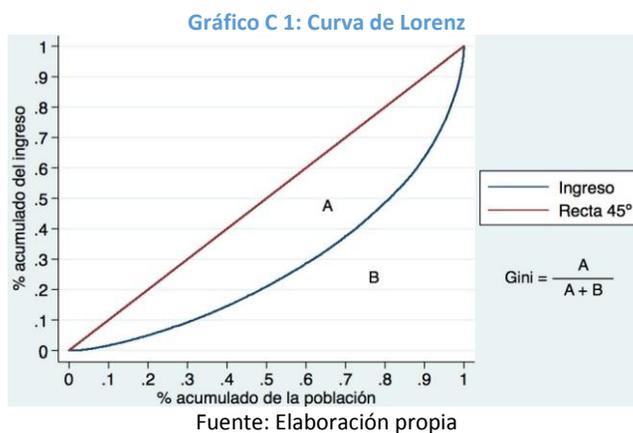
#### Distribución de infraestructura<sup>22</sup>

Entre los indicadores de desigualdad se destacan los coeficientes de Gini y de Theil, los cuales se utilizan normalmente para medir la desigualdad en los ingresos, pero pueden utilizarse para medir cualquier forma de distribución o concentración. En nuestro caso los usaremos para medir la distribución de la infraestructura entre las regiones.

#### i. Coeficiente de Gini

La construcción del coeficiente de Gini se deriva a partir de la curva de Lorenz. En términos simples, la curva de Lorenz representa el porcentaje acumulado de ingreso (%Yi) recibido por un determinado grupo de población (%Pi) ordenado en forma ascendente de acuerdo a la cuantía de su ingreso ( $y_1 < y_2 < \dots < y_n$ ).

Para construir la curva de Lorenz se organiza la información de ingresos en sentido ascendente, a partir de los individuos que reciben menos ingresos. Una vez organizada de este modo la información, se calculan las participaciones del número de individuos y de sus ingresos. Finalmente, se obtienen los porcentajes acumulados de individuos (%Pi) y sus correspondientes ingresos (%Yi) para un número suficiente de rangos. Cuando a cada porcentaje de la población le corresponde el mismo porcentaje de ingreso ( $P_i = Y_i$ ) se forma una línea de 45° que representa la equidad perfecta. En el Gráfico C 1 se muestran los tres elementos: la línea de equidistribución (recta de 45°), la curva correspondiente a la distribución empírica formada a partir de las parejas ( $P_i, Y_i$ ), o curva de Lorenz, y el área entre las dos líneas (A), denominada área de concentración. Por lo tanto, entre más alejada esté la curva de la diagonal mayor es la concentración del ingreso.



<sup>22</sup> Para construir los indicadores se utilizaron de referencia: (1) CEPAL (2001) Consideraciones sobre el índice de Gini para medir la concentración del ingreso. Serie Estudios Estadísticos y Prospectivos N9. División de Estadística y Proyecciones Económicas. (2) CEPAL (2018) Herramientas para el análisis de las desigualdades y del efecto redistributivo de las políticas públicas. Documentos de Proyecto.

El coeficiente de Gini relaciona el área entre la curva de Lorenz y la diagonal y el área total bajo la diagonal. Puesto que se define como  $A/A+B$ , se requiere calcular el área A del gráfico. Sabiendo que el área A+B, que es el total bajo la diagonal, es 0,5 se tiene que:

$$A + B = 0,5$$

$$A = 0,5 - B$$

Por consiguiente,

$$Gini = \frac{A}{A + B}$$

$$Gini = \frac{0,5 - B}{0,5}$$

$$Gini = 1 - 2B$$

El área debajo de la curva de Lorenz, B es

$$B = \sum_i \frac{(Y_{i-1} + Y_i)}{2} * (P_i - P_{i-1})$$

Donde  $Y_i$  y  $P_i$  son los porcentajes acumulados de ingreso y población.

Finalmente, la fórmula del coeficiente Gini es

$$Gini = 1 - \sum_i (Y_{i-1} + Y_i) * (P_i - P_{i-1})$$

## ii. Coeficiente de Theil

El coeficiente de desigualdad de Theil es una medida que permite efectuar ejercicios de descomposición y reúne propiedades de invariabilidad con respecto a la escala de medición del ingreso entre los individuos de diferentes niveles de ingresos. Su fórmula es:

$$Theil = \sum_i x_i \ln x_i n$$

Donde n es el número de individuos receptores de ingreso, y  $x_i$  son sus participaciones en el ingreso total.

Cuando el ingreso se distribuye de manera totalmente equitativa, todos los  $x_i$  toman el valor  $1/n$ . En ese caso todos los  $\ln x_i n$  se hacen iguales a cero. Por ende, cuando hay perfecta distribución el coeficiente es cero.

El índice de Theil tiene la ventaja de tener la propiedad de descomposición aditiva, característica poco frecuente entre los indicadores comúnmente utilizados para medir la desigualdad. La desigualdad total se puede expresar como el resultado entre dos o más grupos:  $T = T_1 + T_2$

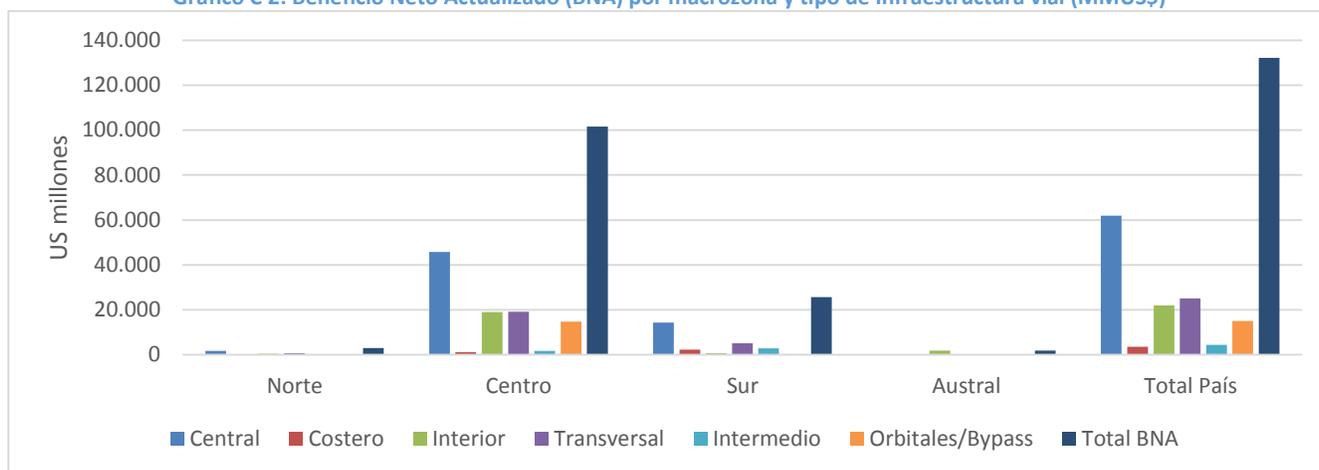
En la evaluación social del Plan se utilizaron estos coeficientes para medir la distribución de la infraestructura en un escenario con y sin Plan. Utilizando los datos de los kilómetros pavimentados de la red estratégica en los dos escenarios y la superficie geográfica ( $\text{km}^2$ ) de las regiones, calculamos la densidad vial ( $\text{km}/\text{km}^2$ ) en cada región. Con esta información, mediante un software estadístico, obtenemos el coeficiente Gini y Theil para la

situación sin y con Plan. Los resultados sugieren que el Plan expande la red estratégica de manera más equilibrada para las distintas regiones dado que ambos coeficientes disminuyen en el escenario de la red con Plan.

- Vialidad

Es posible identificar las inversiones y los beneficios por regiones y verificar si hay equidad en la distribución de estos beneficios. El índice es el beneficio neto actualizado (BNA), el cual se muestra en el Gráfico C 2 por grupo de regiones (macrozonas) y por tipo de infraestructura para la vialidad. Se puede observar que los beneficios se concentran en las macrozonas más pobladas del Centro y Sur debido a que en ellas la congestión es mucho mayor. En las macrozonas extremas del Norte y Austral los beneficios son menores por la baja densidad poblacional, pero se incluyen las inversiones por razones de equidad territorial y soberanía.

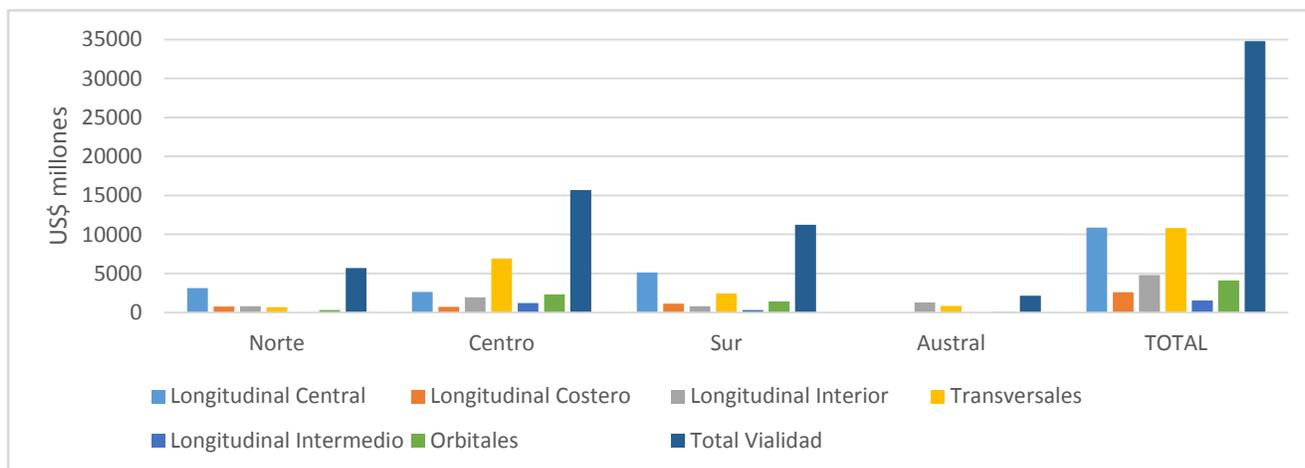
Gráfico C 2: Beneficio Neto Actualizado (BNA) por macrozona y tipo de Infraestructura vial (MMUS\$)



Fuente: Elaboración propia.

El Gráfico C 3 presenta las inversiones por macrozona y por tipo de Infraestructura vial. Se puede observar que en términos de inversión la distribución aumenta hacia las macrozonas extremas, especialmente en la Austral.

Gráfico C 3: Inversión por macrozona y tipo de Infraestructura vial (MMUS\$)

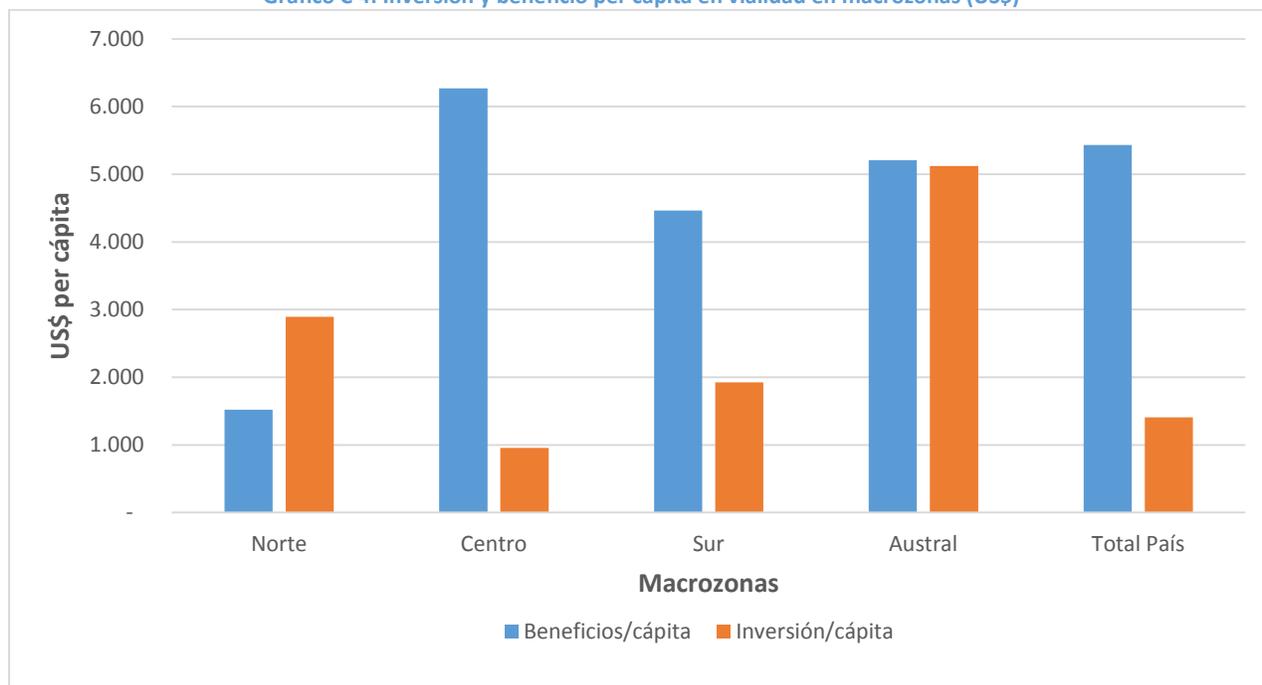


Fuente: Elaboración propia.

- Beneficios e inversiones per cápita

Se puede ver en el Gráfico C 4 que los beneficios per cápita son bastante equitativos, excepto la Macrozona Norte, por lo explicado anteriormente. Aunque las inversiones per cápita son bastante mayores que las del Centro, por ejemplo, los beneficios son menores ya que la situación Base en esta macrozona no está congestionada. La inversión per cápita es mayor en la Macrozona Austral y en menor medida hacia la Norte. La menor inversión per cápita se observa en la Macrozona Central.

Gráfico C 4: Inversión y beneficio per cápita en vialidad en macrozonas (US\$)



Fuente: Elaboración propia.

- Aeropuertos

Para los aeropuertos la Tabla C 4 muestra la inversión, los beneficios y TIR resultante. El Gráfico C5 presenta los indicadores de inversión y beneficios per cápita para cada macrozona.

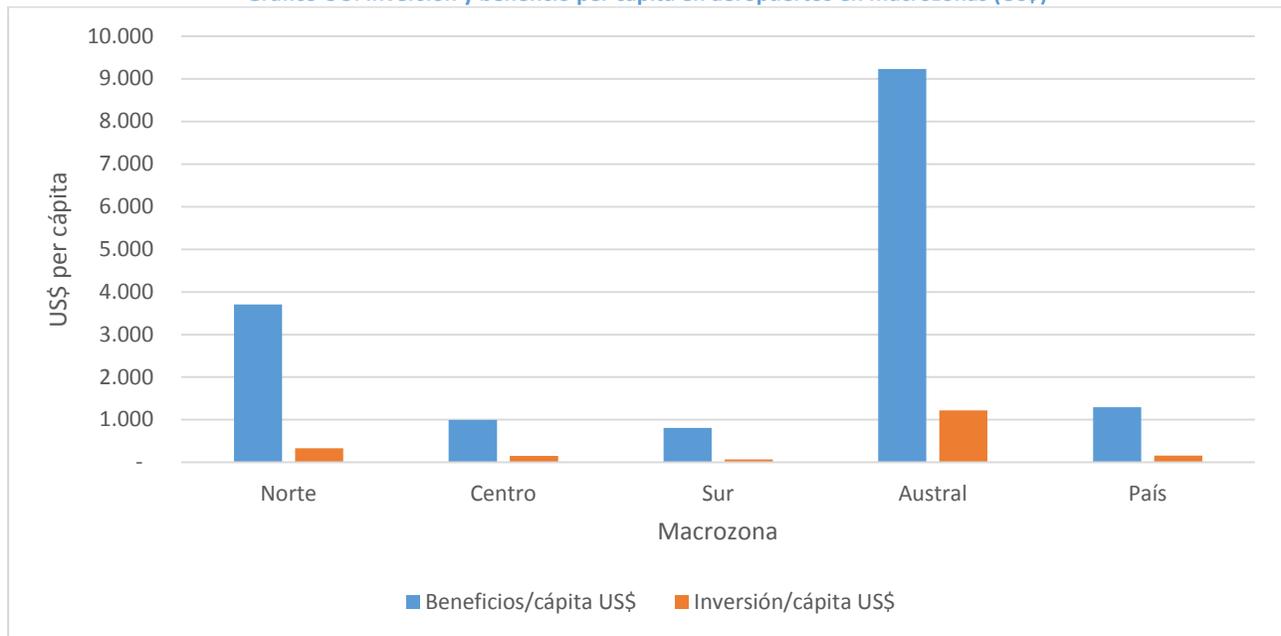
Se puede observar que la inversión per cápita aumenta en la macrozona Austral, pero hay que tomar en cuenta que los aeropuertos de esta macrozona también benefician al turismo. Los beneficios per cápita son muy altos para las dos macrozonas extremas – Norte y Austral - las que se benefician extraordinariamente por la mejoría de la conectividad aérea, tal como se muestra en el Gráfico C 5 donde se observan los resultados de la evaluación social por macrozona.

Tabla C 4: Resultado de la evaluación social de los aeropuertos en macrozonas

Aeropuertos	Superficie Terminal m <sup>2</sup>	Inversión Precios Mercado MMUS\$	Inversión Precios Sociales MMUS\$	Beneficios MMUS\$	TIR
Norte	210.100 m <sup>2</sup>	660	515	7.450	80%
Centro	671.923 m <sup>2</sup>	2.455	1.915	16.084	52%
Sur	150.500 m <sup>2</sup>	412	321	4.672	90%
Austral	62.400 m <sup>2</sup>	442	345	3.351	63%
<b>País</b>	<b>1.072.483 m<sup>2</sup></b>	<b>3.969</b>	<b>3.096</b>	<b>31.556</b>	<b>62%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico C 5: Inversión y beneficio per cápita en aeropuertos en macrozonas (US\$)



Fuente: Elaboración propia

#### C.4: Entorno Ambiental: Contaminación y Protección

La contaminación se mide fundamentalmente por las emisiones de Carbono (CO<sub>2</sub>) que contribuyen a los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y por otras emisiones tal como PM<sub>2.5</sub>. En este caso se midieron las diferencias en las emisiones de carbono usando las estimaciones por corte temporal y tipo de vehículo determinadas por el BID<sup>23</sup>, el cual se detalla en el Apéndice D.

<sup>23</sup> Ver "Consultoría para la cuantificación de emisiones del Plan Nacional de Infraestructura para la Movilidad 2020-20150 de Chile", Mauricio Osses, BID, 2020

## Apéndice D: Emisiones

### D1: Introducción:

La metodología empleada para la cuantificación de las emisiones<sup>24</sup> para este Plan consistió en:

- Establecer escenarios de carácter regulatorio y de fomento tecnológico para cada modo de transporte y corte temporal. Se traducen en 2 grandes alternativas:
  1. Escenario Bajo Carbono el cual se alinea con la política de Chile de alcanzar la neutralidad de emisiones de efecto invernadero al año 2050 y
  2. Escenario Conservador el cual considera menor penetración de las medidas de reducción de emisiones en el sector transporte.
- Establecer factores de emisión para cada modo de transporte y corte temporal de acuerdo a los dos escenarios en relación a los distintos compuestos químicos. Los compuestos que se incluyen son CO<sub>2</sub>, MP2.5, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>x</sub>, CN, HC, y CH<sub>4</sub>.
- Aplicación de los factores de emisión para cada modo de transporte, corte temporal y escenario a las salidas del modelo de transporte para estimar los valores totales anuales. Las salidas del modelo de transporte se calculan a partir del año 2017 (año de calibración del modelo) hasta el año 2050 para la Base (sin Plan) y la alternativa (con Plan).

### D2: Escenarios Regulatorios/Tecnológicos.

#### (i) Bajo Carbono:

- Transporte vial: Implementación de la norma EURO 6/VI el año 2023 junto con una penetración de electromovilidad designada por un 100% de transporte público eléctrico para el 2040 y un 50% de vehículos privados para el 2050. Para el transporte de carga se considera un 50% de camiones pesados a hidrógeno para el 2050.
- Transporte marítimo: Contenido de azufre de 0.5% para combustible de motores principales al año 2020. Se considera un aumento de 45% de la capacidad de carga de la flota durante el periodo.
- Transporte aéreo: recambio acelerado de flota incorporando un mayor número de aviones nuevos a la flota y disminuyendo la participación de aviones más antiguos. Además se considera un factor de ocupación creciente con una variación de 15 puntos porcentuales en el periodo 2020-2050.
- Ferrocarriles: Crecimiento lineal de la participación de locomotoras eléctricas en transporte de pasajeros pasando del 93% actual al 100% al año 2050. Para el transporte de carga las locomotoras eléctricas pasan del 5% actual al 20% al año 2050.

#### (ii) Conservador:

---

<sup>24</sup> La cuantificación de las emisiones para este Plan ha sido estimada por Mauricio Osses para el Banco Interamericano de Desarrollo (ver Consultoría para la cuantificación de emisiones del Plan Nacional de Infraestructura para la Movilidad 2020-2050 de Chile, BID, 7 abril 2020).

- Transporte Vial: Implementación norma EURO 6/VI en Chile el 2030 junto con una penetración de electromovilidad designada por un 10% de transporte público eléctrico para el 2040 y un 30% de vehículos privados para el 2050 además de un 10% de camiones pesados a hidrógeno para el 2050.
- Transporte marítimo: Contenido de azufre de 0.5% para combustible de motores principales al año 2023. Se considera un aumento de 15% de la capacidad de carga de la flota durante el período.
- Transporte aéreo: recambio paulatino de flota incorporando de forma más conservadora los aviones nuevos a la flota y reduciendo la salida de aviones más antiguos. Además, se considera un factor de ocupación constante en el periodo 2020-2050.
- Ferrocarriles: Crecimiento nulo de la participación de locomotoras eléctricas en transporte de pasajeros y de carga para el período.

### D3: Factores de Emisión

Los compuestos químicos que se estiman para cada modo de transporte son los siguientes:

- CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono (Gas Efecto Invernadero)
- MP2.5: Material particulado respirable, criterio contaminante.
- NO<sub>x</sub>: Óxido de nitrógeno, criterio contaminante.
- CO: Monóxido de carbono, criterio contaminante.
- SO<sub>x</sub>: Óxido de azufre, criterio contaminante.
- CN: Carbono negro, forzante vida corta de cambio climático.
- HC: Hidrocarburos, criterio contaminante.
- CH<sub>4</sub>: Metano (Gas Efecto Invernadero)

Las metodologías seleccionadas para la estimación de las emisiones vienen de diferentes fuentes<sup>25</sup> las cuales se aplican a los distintos modos de transporte:

- Transporte Vial: para cada sub-modo se estiman los factores de emisión para cada escenario y corte temporal. Los sub-modos se agrupan en viajes interzonales e intrazonales. Los viajes interzonales constituyen el 72 % de la movilidad de los pasajeros (PKM) y 98% de la movilidad de la carga (TKM). Debido a la congestión intrazonal las emisiones son proporcionalmente significativas. Los sub-modos considerados son:

1. Vehículo liviano,
2. Bus,
3. Camión pesado y
4. Camión liviano.

Es importante notar que las emisiones dependen de la velocidad resultante en los distintos tramos de la red vial. Así por ejemplo con velocidades bajas por congestión las emisiones son altas, bajando hasta los niveles mínimos en velocidades intermedias para volver a subir con las velocidades altas. Las emisiones son menores en las velocidades más altas que en las velocidades bajas. Es una U la forma de la curva.

- Transporte Marítimo: Se distinguen dos tipos de condiciones para cada escenario y corte temporal:
  1. Transporte oceánico que corresponde al transporte de carga de exportación e importación y
  2. Maniobras y puerto que corresponde al transporte de cabotaje nacional y las operaciones en el puerto.
- Transporte Aéreo: Se distinguen dos aspectos en la operación para cada escenario y corte temporal:
  1. Emisión en condición de crucero (CCD) y
  2. en despegue y aterrizaje (LTO).
- Transporte Ferroviario: Se estiman los factores de emisión para cada escenario y corte temporal

---

<sup>25</sup> ver Informe de Osses, M. (2020) cuantificación de emisiones del Plan Nacional de Infraestructura para la Movilidad 2020-2050 de Chile, BID, 7 abril 2020.

En la Tabla D 1 se muestran los factores de emisión de CO2 para los distintos modos en cada escenario y corte temporal. Las unidades utilizadas tienen la siguiente terminología:

- g/vkm: gramos/vehículo-kilómetro
- g/pkm: gramos/pasajero-kilómetro
- g/tkm: gramos/tonelada-kilómetro
- g/pax: gramos/pasajero
- g/ton: gramos/tonelada

Tabla D 1: Factores de emisión de CO2

Categoría	2020		2030		2040		2050		Unidad		
	Bajo Carbono	Conservador	Bajo Carbono	Conservador	Bajo Carbono	Conservador	Bajo Carbono	Conservador			
Vial	Interzonal	VL	177,0	177,0	177,0	177,0	172,0	174,0	118,0	143,0	g/vkm
		BUS	625,0	625,0	619,0	619,0	607,0	610,0	496,0	548,0	
		C2E	598,0	598,0	592,0	592,0	580,0	583,0	469,0	521,0	
		CM2	660,0	660,0	654,0	654,0	642,0	645,0	530,0	583,0	
	Intrazonal	VL	240,0	240,0	240,0	240,0	232,0	233,0	173,0	192,0	
		BUS	1.171,0	1.171,0	1.093,0	1.093,0	940,0	948,0	832,0	854,0	
		C2E	471,0	471,0	466,0	466,0	456,0	459,0	360,0	405,0	
		CM2	1.113,0	1.113,0	1.096,0	1.097,0	1.057,0	1.081,0	694,0	1.007,0	
Ferrocarriles	Pasajeros	26,3	26,2	12,0	12,7	7,3	10,9	4,6	9,3	g/pkm	
	Carga	29,7	20,7	19,5	20,1	18,4	19,9	17,4	19,5	g/tkm	
Aéreo	CCD	64.143,0	71.474,0	55.549,0	65.063,0	47.528,0	57.109,1	41.147,0	50.259,4	g/pkm	
	LTO	16.489,0	18.373,0	14.482,0	16.810,0	12.530,0	14.904,0	11.010,0	13.284,0	g/pax	
Marítimo	Océano	7,5	7,5	5,9	7,0	4,8	6,4	4,0	6,0	g/tkm	
	Maniobras+Puerto	5.603,7	5.603,7	4.558,9	5.191,5	3.824,8	4.748,8	3.311,9	4.423,1	g/ton	

Fuente: Osses, M. (2020) cuantificación de emisiones del Plan Nacional de Infraestructura para la Movilidad 2020-2050 de Chile, BID, 7 abril 2020

#### D4: Aplicación de los Factores de Emisión a las Salidas del Modelo de Transporte

Las salidas del modelo a las cuales se les aplican los factores de emisión son 3:

- Base 2017: la situación actual de la movilidad de los pasajeros y de la carga.
- Base 2050: Las estimaciones del modelo consideran el incremento de la producción y el consumo por zona dado por el Modelo Económico Regional y se asigna a la red vial existente, a aeropuertos con los terminales y pistas existentes y a ferrocarriles con las líneas actuales. Los puertos, sin embargo, se expanden en función de la demanda, ya que sin esto la producción y consumo proyectado no se lograría. El resultado es una alta congestión en gran parte de la red terrestre para el año 2050.
- Plan 2050: Las estimaciones del modelo consideran la misma producción y consumo que en la Base, pero incorpora mejoras y nuevos proyectos en las redes viales, aéreas y ferroviarias. Para los ductos se asume que se expandirán en función de la demanda. La congestión disminuye considerablemente en las macrozonas Centro y Sur, mejorando las velocidades en la vialidad. También hay que notar que el Plan contempla una liberación del cabotaje nacional con el consecuente incremento de carga en este modo de transporte.

(i) Estimaciones de Emisiones de Dióxido de Carbono (CO2)

La Tabla D 2 muestra las estimaciones de las emisiones para los modos de transporte para cada escenario y los cortes temporales 2017 y 2050 para la simulación Base con escenario conservador y para el Plan con el escenario de Bajo Carbono.

**Tabla D 2: Estimación de emisiones de CO2 de la Base y del Plan para el escenario Conservador y Bajo en Carbono (Toneladas anuales x 1000)**

Categoría	2017		2050				
	Base	Base		Plan			
		Bajo Carbono	Conservador	Bajo Carbono	Conservador		
Vial	Inter-zonal	VL	7.150	17.626	20.151	15.889	18.349
		BUS	2.238	991	1.055	724	777
		C2E	939	1.830	1.992	1.894	2.056
		CM2	2.437	5.971	6.534	4.441	4.886
	Intrazonal	VL	4.055	9.140	10.122	9.140	10.122
		BUS	1.078	951	977	951	977
		C2E	373	1.177	1.323	1.177	1.323
		CM2	-	-	-	-	-
<b>Total Vial</b>		<b>18.269</b>	<b>37.687</b>	<b>42.153</b>	<b>34.217</b>	<b>38.491</b>	
Ferrocarriles	Carga	28	101	114	177	198	
	Pasajeros	23	17	34	42	85	
	<b>Total Ferroviario</b>	<b>50</b>	<b>118</b>	<b>147</b>	<b>219</b>	<b>283</b>	
Aéreo	Crucero CCD	1.591	3.608	4.407	3.274	3.999	
	Despegue y Aterrizaje LTO	551	1.461	1.762	1.202	1.450	
	<b>Total Aéreo</b>	<b>2.142</b>	<b>5.068</b>	<b>6.169</b>	<b>4.476</b>	<b>5.449</b>	
Marítimo	Océano	1.048	1.279	1.888	1.235	1.824	
	Cabotaje + Puerto	369	300	401	1.252	1.672	
	<b>Total Marítimo</b>	<b>1.417</b>	<b>1.579</b>	<b>2.289</b>	<b>2.487</b>	<b>3.496</b>	
<b>Total País</b>		<b>21.878</b>	<b>44.452</b>	<b>50.759</b>	<b>41.399</b>	<b>47.719</b>	

Fuente: Osses, M. (2020) cuantificación de emisiones del Plan Nacional de Infraestructura para la Movilidad 2020-2050 de Chile, BID, 7 abril 2020

Es necesario tener presente que las emisiones en transporte constituyen aproximadamente un 25% del total nacional. El estudio demuestra que debido al considerable aumento en 150% de la movilidad de la carga y en 100% de la movilidad de los pasajeros, las emisiones de carbono aumentarán en el Plan solo en un 82%, debido a la implementación de mejoras en el transporte y en las regulaciones tecnológicas.

La Tabla D 3 muestra el resumen de las emisiones de carbono para los modos agrupados en 4 categorías: vial, ferroviario, aéreo y marítimo. Es interesante notar que las emisiones de los vehículos livianos bajan en un 22% en el Plan con un escenario de Bajo Carbono en relación con la Base con un escenario conservador para el 2050. Es significativa la reducción de emisiones de los camiones pesados debido al aumento del transporte de carga por cabotaje, el cual aumenta en 3 veces sus emisiones. Hay un aumento en las emisiones de los ferrocarriles por el aumento de la carga y pasajeros por ese modo, aunque en el total no es significativo. En cambio, hay una disminución significativa en las emisiones de los aviones que se debe, en parte, por la disminución de los pasajeros en distancias menores con el Plan, aunque se mantienen los pasajeros aéreos de larga distancia.

Tabla D 3: Estimación de emisiones de CO2 de la Base con escenario conservador y del Plan con escenario bajo en carbono (Toneladas anuales)

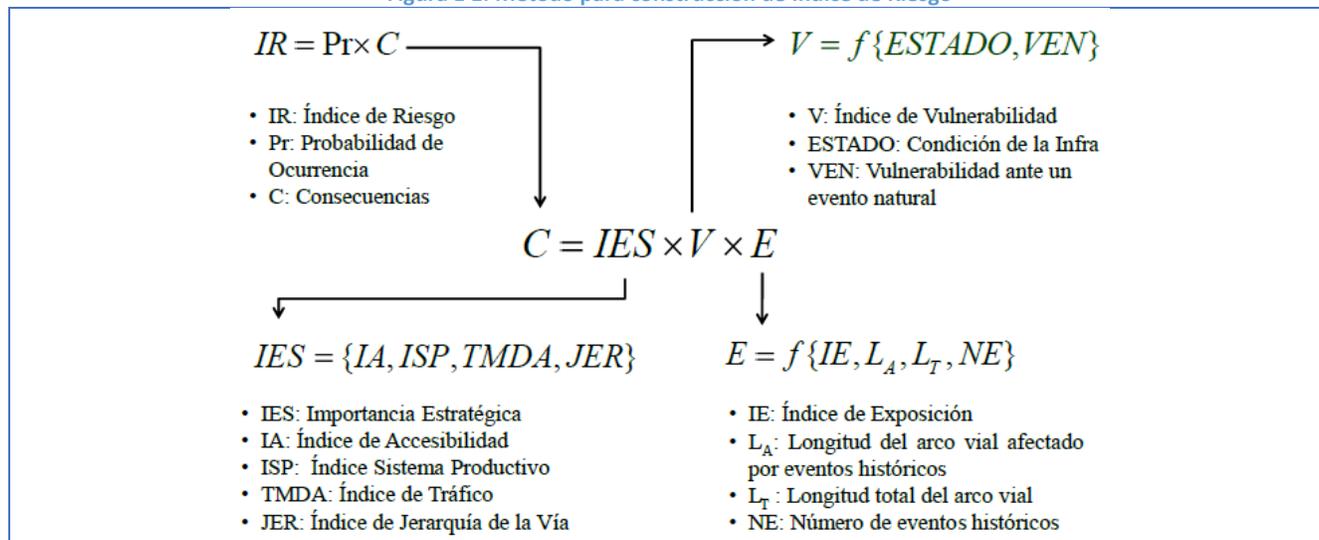
Categoría		Base 2017	Base 2050 Conservador	Plan 2050 Bajo Carbono	
Vial	Inter-zonal	Vehículos Livianos	7.150	20.151	15.889
		BUS	2.238	1.055	724
		Camiones livianos	939	1.992	1.894
		Camiones pesados	2.437	6.534	4.441
	Intrazonal	Vehículos Livianos	4.055	10.122	9.140
		BUS	1.078	977	951
		Camiones livianos	373	1.323	1.177
		Camiones pesados	-	-	-
<b>Total Vial</b>		<b>18.269</b>	<b>42.153</b>	<b>34.217</b>	
Ferrocarriles	Carga	28	114	177	
	Pasajeros	23	34	42	
	<b>Total Ferroviario</b>	<b>50</b>	<b>147</b>	<b>219</b>	
Aéreo	CCD	1.591	4.407	3.274	
	LTO	551	1.762	1.202	
	<b>Total Aéreo</b>	<b>2.142</b>	<b>6.169</b>	<b>4.476</b>	
Marítimo	Océano	1.048	1.888	1.235	
	Cabotaje + Puerto	369	401	1.252	
	<b>Total Marítimo</b>	<b>1.417</b>	<b>2.289</b>	<b>2.487</b>	
<b>Total País</b>		<b>21.878</b>	<b>50.759</b>	<b>41.399</b>	

Fuente: Osses, M. (2020) cuantificación de emisiones del Plan Nacional de Infraestructura para la Movilidad 2020-2050 de Chile, BID, 7 abril 2020

## Apéndice E: Riesgos

El “Estudio básico de catastro georreferenciado de riesgos y peligros naturales en la red vial” realizado por la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas (2011) identificó las áreas de riesgos por fenómenos naturales, que comprometen a la red vial nacional a través de la sistematización y análisis de la información de dichos fenómenos que la han afectado en los últimos años. El estudio construyó un Índice de Riesgo (IR), que resume la relevancia de la vía, su vulnerabilidad, exposición a eventos naturales y la probabilidad de ocurrencia de estos últimos. Se define a este índice como el producto entre la Probabilidad de Ocurrencia (Pr) y las Consecuencias (C) del evento natural.

Figura E 1: Método para construcción de Índice de Riesgo



Fuente: Estudio básico de catastro georreferenciado de riesgos y peligros naturales en la red vial

- La probabilidad de ocurrencia corresponde a la recurrencia o frecuencia con que suceden los eventos naturales. Esta es propia de cada evento y específica para cada macrozona geográfica del país.
- Las consecuencias corresponden a los impactos sobre el sistema antrópico generados por la ocurrencia de un evento natural. Dichas consecuencias pueden medirse conociendo la importancia estratégica de la infraestructura vial, su vulnerabilidad y su exposición frente a eventos naturales.
- La importancia estratégica de un camino de la red vial está relacionada con la relevancia de la vía considerada, para el sistema productivo local, regional, nacional o internacional. Se mide en función de la presencia o ausencia de rutas alternativas a la vía o ruta afectada por un evento natural, mediante el Índice de Accesibilidad, por el tamaño de la vía a través del Índice de Jerarquía, por el nivel de tráfico presente en la vía a través del Índice de Tráfico y por la relevancia de la vía para el sistema productivo expresado a través del Índice del Sistema Productivo.
- La vulnerabilidad está relacionada con el estado general de la infraestructura vial y con la vulnerabilidad combinada ante diversos eventos naturales, cualificación que le permitirá, en mayor o menor medida, soportar o no soportar adecuadamente la ocurrencia de eventos naturales periodo a periodo. Asimismo, también dependerá de la probabilidad de falla de la infraestructura ante eventos naturales.

- Finalmente, la exposición tiene que ver con la memoria acumulada de eventos sobre el camino o un segmento de éste. De esta manera, existirán caminos y/o arcos que han sido más afectados por eventos y con mayor recurrencia, de tal modo que estarán o han estado más expuestos a este tipo de riesgos. En este trabajo se propone un Índice de Exposición específico en base a los antecedentes disponibles de emergencias viales existentes en las bases de datos.

## Apéndice F: Reuniones de coordinación y difusión del Plan

Uno de los aspectos clave para la ejecución de proyectos es la sociabilización que se realice con los usuarios, operadores e instituciones relacionadas con la infraestructura.

Por esto, el Ministerio de Obras Públicas mantuvo una especial preocupación por ir dando a conocer los avances y resultados preliminares del Plan de Infraestructura, durante todo el proceso de elaboración de éste a los distintos actores, públicos como privados. En efecto, en su oportunidad fue presentado a S.E. el Presidente de la República, ministros, intendentes, senadores y diputados, además de diversos representantes de la sociedad civil, académicos y expertos en materia de infraestructura. El principal objetivo de estas actividades ha sido obtener la indispensable retroalimentación en las distintas instancias de la elaboración del Plan.

A continuación, se muestran las principales actividades realizadas en este ámbito, destacando la institución convocada, las fechas en las que se realizaron las reuniones y los principales temas tratados.

Institución	Fecha	Temas tratados
<ul style="list-style-type: none"> <li>Banco Central (BC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Noviembre 2018</li> <li>Diciembre 2018</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisión de la Matriz Insumo-Producto.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Banco Interamericano de Desarrollo (BID)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enero 2020.</li> <li>Agosto 2020</li> <li>Septiembre 2020</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación de resultados preliminares del Plan y avance de consultorías BID que apoyan al Plan.</li> <li>Presentación de resultados globales del Plan y contribución de consultorías asociadas.</li> <li>Presentación a otros países de la región del Plan y de las consultorías del BID de apoyo al Plan.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Cámara Chilena de la Construcción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enero 2020</li> <li>Julio 2020</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación de resultados preliminares del Plan y avance de consultorías BID que apoyan al Plan.</li> <li>5 Talleres con participación de entidades públicas y privadas, que tuvieron por objetivo retroalimentar los distintos aspectos del Plan.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Comisión Interministerial de Ciudad, Vivienda y Territorio (COMICIVYT).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diciembre 2018</li> <li>Enero 2020</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación de resultados preliminares y globales del Plan.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Comisiones de Obras Públicas: Cámara del Senado y de Diputados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Junio 2020</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación de resultados globales del Plan.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>Consejo de Concesiones (MOP)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Febrero 2020</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación de resultados globales del Plan.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Consejo de la Sociedad Civil: Ministerio de Transporte (1) Ministerio de Obras Públicas (2)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Junio 2020</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación de resultados globales del Plan.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Consejo Nacional de Desarrollo Urbano (CNDU)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diciembre 2019</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación de resultados preliminares del Plan.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Consejo Políticas de Infraestructura (CPI)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diciembre 2019</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación de resultados preliminares del Plan.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Empresa de Ferrocarriles del Estado (EFE)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diciembre 2018.</li> <li>Diciembre 2019</li> <li>Enero 2020</li> <li>Febrero 2020</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación del Plan del grupo EFE: Chile-Sobre Rieles.</li> <li>Presentación de resultados globales del Plan</li> <li>Evaluación del tren de cercanía Melitren</li> <li>Revisión de iniciativas de largo plazo en ferrocarriles</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fondo de Infraestructura (Foinsa)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diciembre 2019</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación de resultados preliminares del Plan.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Intendentes Regionales (16)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Julio 2020</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación de resultados globales del Plan.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ministerio de Energía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mayo 2019.</li> <li>Junio 2019.</li> <li>Noviembre 2019.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación general del Plan (MOP) y de Estrategia de Electromovilidad (Minergia).</li> <li>Presentación de Modelo Económico Regional y solicitud de estimaciones de largo plazo de consumo de combustible.</li> <li>Presentación de resultados preliminares del Plan.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Septiembre 2018.</li> <li>Junio 2019.</li> <li>Septiembre 2019.</li> <li>Diciembre 2019.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación de imagen-objetivo del Plan.</li> <li>Análisis de puertos y ferrocarriles en la imagen-objetivo.</li> <li>Estimación de requerimientos de inversión en puerto públicos.</li> <li>Presentación de resultados globales del Plan.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Presidente: Sebastián Piñera Echenique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diciembre 2019.</li> <li>Febrero 2020.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación de resultados preliminares y globales del Plan.</li> </ul>

En general, las conclusiones más sustantivas de este proceso de sociabilización van en la línea de:

- **Visión país:** se considera relevante que el Plan tenga una mirada integral de 30 años, que vaya acompañada de un ordenamiento operativo y táctico y que complemente a la institucionalidad vigente, que articula su planificación a través de las normativas del Sistema Nacional de Inversiones.
- **Gobernanza:** se destaca, por un lado, la necesidad de definir el organismo encargado de implementar el plan y, además, se reafirma la importancia de la tarea del Estado a lo largo de todo el horizonte temporal del plan, lo que incluye desafíos de gobernanza democrática, territoriales y de descentralización, entre otros.
- **Sostenibilidad:** las medidas e implementaciones adoptadas deberán cautelar la sostenibilidad en diferentes dimensiones del desarrollo, de manera de lograr un equilibrio entre éstas, para que el progreso sea integral. Se destaca la promoción por parte del Plan, de la electromovilidad y el aporte en la disminución de las emisiones de CO2 respecto a la situación base.
- **Financiamiento:** se destaca que se haya hecho un análisis de financiamiento del Plan, al menos de las obras tuición del MOP, cuyo resultado ha mostrado que el financiamiento es abordable, debido a que se proyecta una proporción de la inversión en materia de infraestructura respecto al Producto Interno Bruto, que se asimila a la evolución histórica de esta proporción de los últimos veinte años.
- **Escenario Futuros (post COVID-19):** se recomienda el ajuste de proyecciones según cambios en comportamientos, tecnologías y sistema de actividades, entre otros factores, observando la manera en que se recupere el dinamismo económico y el crecimiento, lo que podrá incidir en el cronograma de inversiones del Plan. También se deberán ir ajustando y actualizando periódicamente las planificaciones de los diversos servicios e instituciones relacionadas.
- **Coordinación con regiones:** Finalmente, a pesar de que el Plan se sociabilizó con los secretarios regionales ministeriales del MOP e intendentes regionales, se tiene contemplado realizar nuevas visitas a las regiones, una vez que las condiciones sanitarias lo permitan. Así, con la visión regional enriquecida y el regreso de las condiciones de crecimiento, se podrán realizar nuevos análisis para actualizar la planificación de los modos viales, ferroviarios, marítimo y aéreo.