

# El Modelo de Chile: Insumo-Producto y Asignación Multimodal de Carga y Pasajeros

Tomás de la Barra, Modelística  
tomas@modelistica.com

Héctor Franco, INECON  
hfranco@inecon.net

Ricardo Ramos, INECON  
ramos@inecon.net

## RESUMEN

En este artículo se resume el desarrollo y aplicación de un modelo de insumo-producto integrado con un modelo de asignación multimodal de transporte para el territorio de Chile. El desarrollo del modelo, que utilizó el sistema TRANUS, estuvo orientado a dar soporte a la *Actualización del Plan Director de Infraestructura* del Ministerio de Obras Públicas (MOP).

El modelo contó con dos componentes principales: a) un modelo de generación y localización de la producción, empleo y población, y b) un modelo multimodal de transporte de carga y pasajeros. En el modelo, ambos componentes están totalmente integrados y dependen mutuamente. Los intercambios económicos entre sectores productivos generan flujos de carga de diversos tipos. La producción genera empleo, el empleo genera población, y a su vez éstos generan viajes de personas por propósitos de trabajo y servicios. La zonificación y representatividad del modelo corresponde a comunas. El modelo asigna los flujos de carga y pasajeros a una única red multimodal que incluye carreteras, ferrocarriles, cabotaje, aéreos y ductos. Las transacciones económicas incluyen importaciones y exportaciones, para lo cual la red de transporte consideró los principales puertos marítimos y fronterizos con los países vecinos. Sobre esta base se realizaron proyecciones basadas en determinadas hipótesis acerca de la evolución de la producción y del comercio internacional, además de los efectos de mejoras en la red de transporte. El propósito es demostrar que el modelo desarrollado puede predecir y evaluar las consecuencias de las acciones a futuro en un amplio rango de acciones a un nivel de detalle de cierta consideración.

*Palabras claves:* insumo-producto, transporte carga, transporte pasajeros, red multimodal, TRANUS.

## ABSTRACT

This article summarizes the development and application of an input-output model integrated with a multimodal assignment model of transport for Chile. The development of the model, that used the TRANUS system, was oriented to give support to the *Actualization of the Infrastructure Director Plan of the Public Works Secretary of State of Chile*.

The model had two main components: a) a model of generation and localization of production, employment and population, and b) a passenger and freight transport multimodal model. In the model, both components are totally integrated and depend each other. The economic interchanges amongst productive sectors generate freight flows of different types.

The production generates employment, employment generates population, and this last one generates personal trips with the purposes of work and services. The zoning of the models were boroughs. The model assigns flows to a multimodal network that includes roads, rail roads, coastal shipping, air transport and ducts. Economic transactions include imports and exports, that led to consider maritime and frontiers ports with neighbours countries. Projections were done based on defined hypothesis about the evolution of production and the international trade, and also the effect of improvements on the transport network. The main conclusions are that the model can predict and evaluate the consequences of actions and decisions in the future, the range of actions is wide, and the level of details is important.

*Keywords:* input-output analysis, freight transport, passenger transport, multimodal networks, TRANUS.

## 1. INTRODUCCIÓN

En este artículo se resume el desarrollo y aplicación de un modelo de insumo-producto integrado con un modelo de asignación multimodal de transporte que cubrió el territorio nacional de Chile. El desarrollo del modelo estuvo orientado a dar soporte a la *Actualización del Plan Director de Infraestructura* del Ministerio de Obras Públicas de Chile. Este trabajo fue desarrollado por la consultora INECON. El texto que se presenta aquí, sin embargo, es entera responsabilidad de los autores.

Como antecedente a este esfuerzo de modelación, el MOP desarrolló un modelo de localización de la producción y transporte de Chile (MOP, 1997) con el Consorcio ME&P-MECSA-INECON, utilizando para ello el software MEPLAN. En el presente ejercicio de modelación se trató de desagregar el modelo, especialmente desde el punto de vista espacial, incrementando el número de zonas hasta llegar al nivel de comunas, con la capacidad de simular y evaluar una extensa cartera de proyectos viales en bastante detalle. Para ello se utilizó el sistema de modelos TRANUS.

Este trabajo se realizó entre el 2009 y 2010, cubrió muchos aspectos y contó con la participación de numerosas personas que sería largo de enumerar. Como este artículo se centra en la modelación, cabe destacar los agradecimientos por parte del equipo de INECON a J. Barrientos, C. Illanes, J. Silva y S. De la Cruz. Por parte del MOP fueron particularmente importantes las contribuciones de Uwe Gehrels, Christian Lopez, Roberto Riveros y el inspector fiscal Rodolfo Kremer. Sin esta labor de equipo este trabajo no habría sido posible.

Este artículo comienza por una rápida descripción del modelo integral de localización de la producción, usos del suelo y

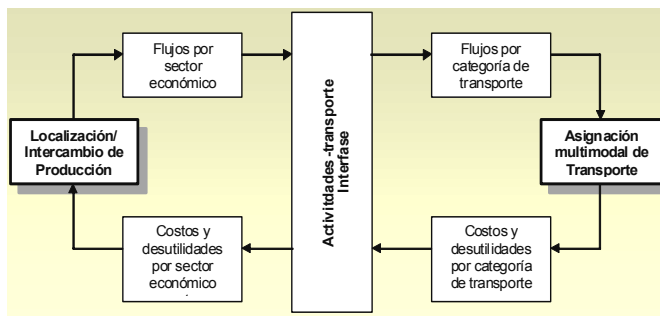
transporte TRANUS, comenzando por la localización y distribución de la producción, y luego por el modelo multimodal de transporte. Luego se describen las características principales del ‘modelo de Chile’ y los resultados de la calibración, comparando valores simulados con información disponible. En una cuarta sección se describen los dos escenarios futuros que fueron modelados y evaluados y se presentan los principales resultados en formato muy agregado. El énfasis de la presentación es en aspectos metodológicos, más que los resultados en sí mismos. El artículo cierra con las principales conclusiones que se derivan del proceso de modelación, señalando logros, dificultades y posibilidades a futuro.

**2. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DESARROLLADO**

Para las simulaciones se utilizó el software libre TRANUS (www.tranus.com), que es un modelo integrado de localización/intercambio de la producción y de transporte. La estructura general del modelo se presenta en la Figura 1 con sus dos módulos principales: producción y transporte. El módulo de producción estima la localización de la producción de cada sector en cada región en que se ha dividido el área de estudio, resultando en un conjunto de matrices origen/destino de flujos por sector. Entre los módulos de producción y transporte una interfaz realiza determinadas transformaciones a las matrices de flujos para adecuarlas al modelo de transporte.

El módulo de asignación multimodal de transporte toma como insumo las matrices de flujos por categoría de transporte y las asigna a los diversos tramos que conforman la red multimodal. Para ello realiza una detallada estimación de los costos de transporte, distinguiendo entre los costos a los usuarios, costos de operación y costos de mantenimiento de la infraestructura. Con base en los costos de transporte a los usuarios de carga y personas se calcula el costo generalizado, y el costo compuesto o desutilidad de transporte.

Los costos y desutilidades por categoría de transporte resultantes son nuevamente transformados en el módulo interfaz, resultando en un conjunto de matrices origen/destino de costos y desutilidades de transporte por sector socioeconómico, que influyen en la localización e intercambios de producción, con lo cual se cierra el circuito.



Fuente: Descripción general del sistema TRANUS (www.tranus.com)

**FIGURA 1: Componentes del Modelo Integral Producción-Transporte**

**2.1 Demanda y Distribución de la Producción**

El modelo considera como punto de partida al modelo clásico de insumo-producto de Leontief (1941), con sus categorías de demanda final, demanda intermedia e insumos primarios.

La versión espacial del modelo de insumo-producto corresponde a de la Barra (1979, 1989). Todo sector requiere insumos de otros sectores. La producción se destina en parte al consumo intermedio, y otra parte va al consumo final, bien sea interno o externo (exportaciones). Dada cierta demanda final localizada de uno o más sectores, el modelo determina la producción inducida a través de *funciones de demanda*, y la localiza espacialmente mediante funciones de distribución probabilísticas logit, con una función de utilidad que incluye el precio del sector demandado y la desutilidad de transporte entre ambas zonas. A la vez, los sectores inducidos demandan insumos, generándose así una cadena de producción y de localización de actividades.

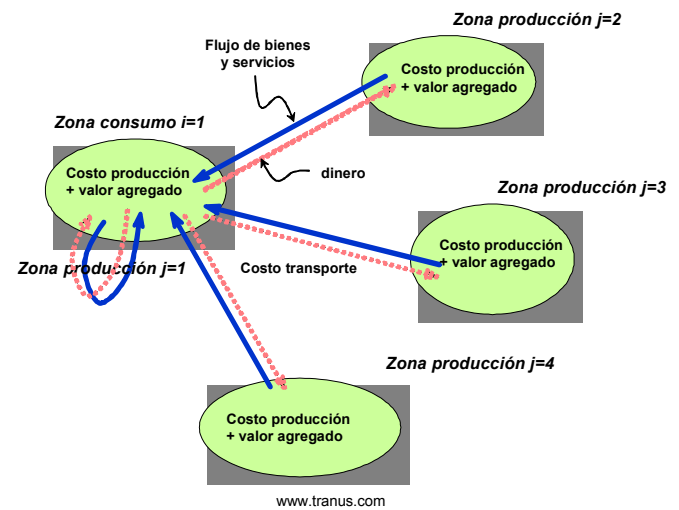
De estas relaciones se derivan intercambios económicos espaciales, flujos de personas y de bienes o servicios de los cuales se deriva la demanda de transporte. En algunas transacciones intervienen bienes *no transportables*, como el consumo de suelo o de edificaciones.

En la Figura 2 se muestra un ejemplo con una zona de consumo y varias zonas de producción. El modelo distribuye las compras con un modelo logit entre las zonas que producen el sector demandado. En el diagrama, las flechas azules indican el sentido en que se mueve la producción, pero el dinero fluye en sentido contrario (flechas rojas).

Además de estimar las matrices de *flujos*, que dan origen a la demanda de viajes, el modelo lleva un registro de los costos de las transacciones. El costo de una unidad de producción de un sector es el costo de los insumos más el valor agregado a la producción. Si hay restricciones a la producción en alguna zona, el modelo calcula un precio de equilibrio en función a la oferta y la demanda, el cual puede resultar mayor o menor que el costo de producción.

En este esquema, las exportaciones representan una demanda localizada fuera del área de estudio que induce producción dentro de ella. Las importaciones representan demandas dentro del área de estudio que se satisface con productos de zonas externas y no induce producción interna.

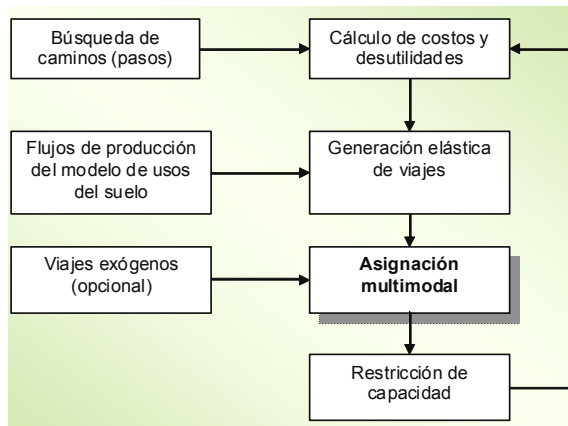
Cabe destacar que con esta estructura, el modelo puede representar regiones, como sería el caso del modelo de Chile que se reseña aquí, como áreas urbanas con mercados inmobiliarios complejos.



**FIGURA 2: Relaciones Espaciales de Producción y Consumo**

## 2.2 El Modelo de Transporte

El modelo de transporte transforma los flujos de producción en viajes para un determinado periodo de tiempo (en este caso diario) y los asigna a la red multimodal, de acuerdo a la secuencia de la Figura 3.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3: Modelo de Transporte

El modelo de transporte comienza con la búsqueda de los pasos o caminos multimodales que conectan cada par origen-destino por cada *modo de transporte*. Los modos están agrupados en conjuntos, tales como carga pesada, carga liviana o pasajeros. A su vez, la carga pesada puede estar compuesta de los operadores camiones pesados, ferrocarril de carga y cabotaje, mientras el modo pasajero puede estar formado de automóviles, autobuses, aviones y trenes de pasajeros.

El modelo construye los pasos a partir de la *red de transporte*, definida por un grafo direccional en el cual cada enlace tiene asignado un conjunto de características: tipo de vía, distancia, capacidad, posibles rutas de transporte público, etc. A su vez cada tipo de vía tiene un administrador que se encarga de su mantenimiento y puede cobrar peaje, y una serie de atributos comunes para cada modo que puede utilizarlo: velocidad, cargos (peajes, estacionamientos) costo de operación y vehículos equivalentes. A lo largo de un paso puede haber transbordos entre operadores, lo cual agrega al costo el tiempo de espera y tarifas adicionales, o posibles tarifas integradas. Es importante destacar que en TRANUS se codifica una sola red multimodal, en la cual interactúan todos los vehículos que comparten un enlace, afectándose mutuamente.

Un ejemplo con múltiples opciones de viaje se muestra en la Figura 4, para un caso de carga que debe ser transportada desde el origen al destino. Las opciones son viajar en camión hasta una estación de ferrocarril y terminar el viaje en tren, con costos de viaje y de transferencia. Otra opción es el viaje en camión desde el origen al destino, ya sea por una autopista con peaje o una carretera de montaña. El modelo computa todos los costos involucrados en cada opción:

- Costos monetarios y desutilidad de transporte a los usuarios
- Ingresos y costos a los operadores
- Ingresos a los administradores (por posibles peajes) y costos de mantenimiento

La desutilidad de cada paso es el *costo generalizado*, es decir, el costo monetario más el valor del tiempo y constantes modales. La desutilidad compuesta de todos los pasos se calcula como el log-sum del modelo probabilístico logit (ver más adelante). Para el cálculo de los costos de operación, el modelo computa por separado los costos de consumo de combustibles, si es el caso, costos por distancia y costos por tiempo. El consumo de combustible es importante porque es posible derivar de él las emisiones contaminantes.

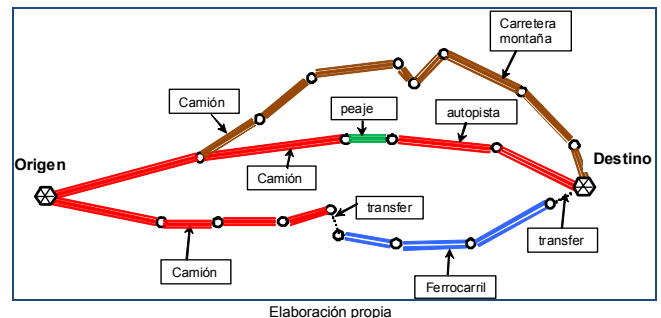


FIGURA 4: Ejemplo de Pasos Multimodales

Calculados los costos, el modelo estima la demanda en dos fases: generación y asignación a la red multimodal. La generación es elástica, y estima los viajes entre zonas por categoría de análisis (diarios u horarios) que se derivan de la demanda potencial proveniente de la localización de la producción.

La demanda se asigna a la red multimodal de transporte con un modelo logit, lo cual equivale a un procedimiento simultáneo de reparto modal y asignación. El modelo calcula la probabilidad de elección de cada paso disponible entre cada par O-D en función de la desutilidades respectivas diversificadas por categoría de usuario, lo cual es muy importante no sólo para la elección de modo, sino también para la elección de ruta, especialmente ante la presencia de peajes. Cabe destacar que el modelo de asignación multimodal probabilístico logit puede aplicarse por igual a redes regionales o urbanas, con diversos niveles de congestión. Por contraste, los modelos convencionales de transporte basados en el principio de equilibrio, no pueden ser aplicados a redes regionales con bajos niveles de congestión, ya que convergen a una asignación todo-o-nada.

Los viajes asignados se transforman a vehículos para la restricción de capacidad, en el cual se ajustan las velocidades y tiempos de espera en función de la congestión.

## 3. CALIBRACIÓN DEL MODELO

### 3.1 Definición de la Aplicación

#### 3.1.1 Zonificación

El territorio nacional de Chile se dividió en zonas, tomando como base a las comunas. A esto se agregaron zonas externas para representar las principales conexiones internacionales. Se definieron 364 zonas: 317 zonas internas y 47 zonas externas (26 puertos, 14 con Argentina, 3 con Bolivia, 1 con Perú, 3 aeropuertos). Esta zonificación es considerablemente más detallada que el modelo desarrollado en el MOP (1997) que tenía 83 zonas internas y 7 externas.

3.1.2 Categorías y Modos

Se definieron dos grandes categorías de usuarios:

- Pasajeros (viajes al trabajo por pasajeros de estratos bajos, medios y altos y viajes a servicios)
- Carga (liviana, pesada, graneles líquidos y sólidos, y contenedores)

En total se representaron 4 categorías de pasajeros y 5 de carga. Cada una de estas categorías es asignada por separado tomando en cuenta las respectivas funciones de utilidad (valores del tiempo, preferencias, etc.). Los modos disponibles en cada caso son los que se muestran en la Figura 5.

Conjunto	Modos
Pasajeros	Automóvil Autobús urbano Autobús interurbano Avión pasajeros Ferrocarril pasajeros (Terrasur) Metro de cercanías Biotrén de cercanías Metro de Valparaíso Merval
Carga liviana	Camión sencillo (dos ejes) Avión de carga
Carga general pesada	Camión con acoplado para carga general pesada Ferrocarril carga general pesada, FEPASA
Gráneles líquidos	Camión con acoplado para gráneles líquidos Ferrocarril para gráneles líquidos, FEPASA Ferrocarril para gráneles líquidos, TRANSAP Barco para gráneles líquidos Mineroductos
Gráneles sólidos	Camión con acoplado para gráneles sólidos Ferrocarril gráneles sólidos, FEPASA Ferrocarril gráneles sólidos, FERRO NOR Ferrocarril gráneles sólidos, FCAB Barco para gráneles sólidos
Contenedores	Camión con acoplado para contenedores Ferrocarril para contenedores, FEPASA

Elaboración propia

FIGURA 5: Modos por Grupo de Usuarios

3.1.3 Red de Transporte Multimodal

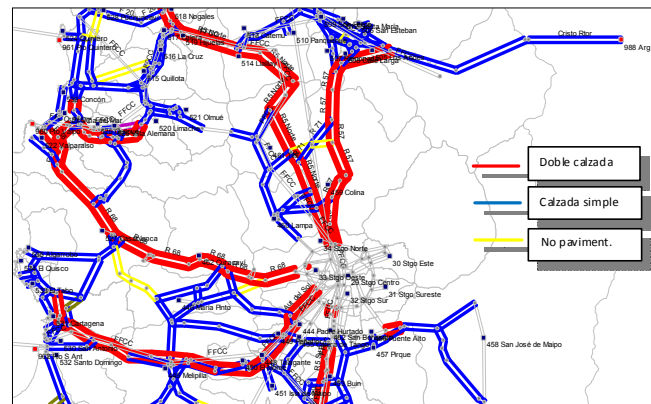
Por tratarse de una red multimodal compleja, se adoptaron numerosos tipos de vía, que determinan características tales como velocidades por modo, costos de operación, peajes, vehículos equivalentes, funciones de flujo-demora y otras. Cada tipo de vía pertenece a un *administrador*, el ente que se encarga de su mantenimiento y percibe los ingresos de los posibles peajes. La lista de tipos de vía es la que se presenta en la Figura 6, indicando el administrador respectivo. Muchos de los administradores corresponden a operadores de concesiones. Las calzadas simples se distinguen entre buen estado, regular y malo, lo cual permite una evaluación más realista de los costos de operación de los vehículos, y la evaluación económica de posibles programas de rehabilitación a futuro. Dada la zonificación adoptada, la red multimodal de transporte es considerablemente más detallada que la utilizada en MOP (1997). En total se definieron unos 7,5 mil enlaces multimodales.

Tipo de vía	Administrador
Calzada doble	MOP
Calzada simple en buen estado	MOP
Calzada simple en regular estado	MOP
Calzada simple en mal estado	MOP
No-pavimentadas	MOP
Transbordador	Transbordador
Conector de centroide	MOP
Vía urbana	MOP
Cuesta	MOP
Autopista del Sol (R 78)	Autopista Sol
Autopista Libertadores (R 57)	R57 Libertadores
Peaje El Melón	R5 Norte
Autopista Santiago-Viña (R 68)	R68 Stgo-Viña
Red Vial Litoral Central	Red LC
Autopista Santiago-Puerto Montt (R 5 Sur)	R5 Sur
Autopista Santiago-Serena (R 5 Norte)	R5 Norte
Peaje Fiscal	MOP
Peaje Nogales	MOP
Acceso Norte Concepción (R 152)	A N Concepción
Peaje Madera	MOP
Ferrocarril pax rápido	FFCC
Ferrocarril pax medio	FFCC
Ferrocarril pax lento	FFCC
Ferrocarril mixto rápido	FFCC
Ferrocarril mixto medio	FFCC
Ferrocarril mixto lento	FFCC
Ferrocarril carga medio	FFCC
Ferrocarril carga lento	FFCC
Estación ferrocarril mixta	FFCC
Estación ferrocarril sólo carga	FFCC
Estación ferrocarril sólo pasajeros	FFCC
Estación ferrocarril sólo granel sólido	FFCC
Ruta aérea	Aéreo
Ruta de cabotaje	Cabotaje
Mineroducto	Ducto

Fuente: Elaboración propia

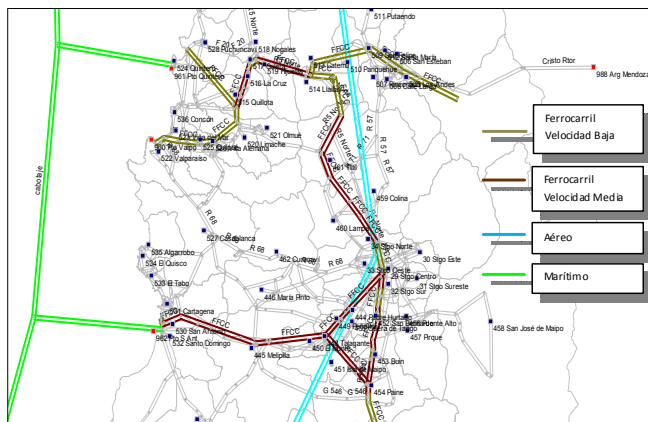
FIGURA 6: Tipos de Vía

En la Figura 7 se muestra un ejemplo de la red de carreteras correspondientes a las regiones centrales. Se percibe una conexión con Argentina (Cristo Redentor) y tres puertos (Quintero, Valparaíso y San Antonio). Las vías de calzada doble pertenecen a diversos concesionarios. Las figuras siguientes muestran otros aspectos de la red.



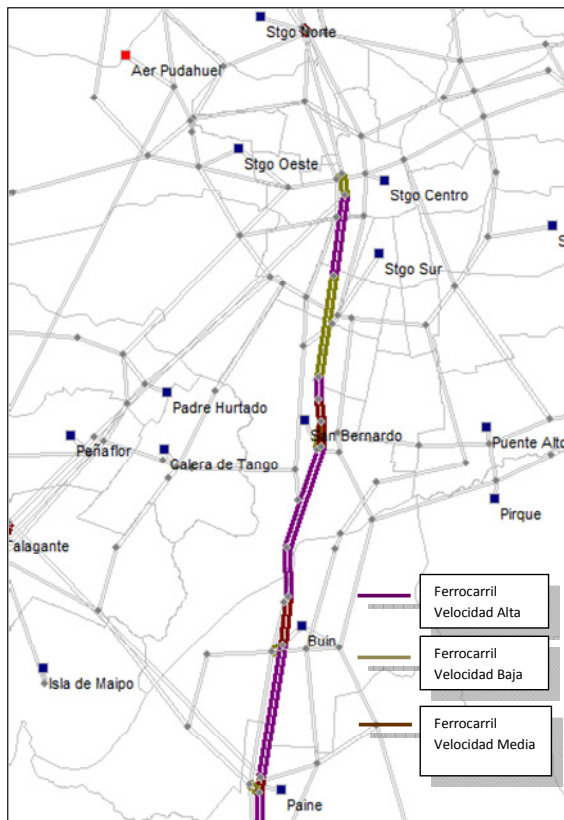
Fuente: Elaboración propia en TRANUS

FIGURA 7: Ejemplo de Red Codificada de Carreteras (Zona Centro)



Fuente: Elaboración propia en TRANUS

**FIGURA 8: Ejemplo de la Red Ferroviaria, Aérea y Marítima (Regiones Centrales)**



Fuente: Elaboración propia en TRANUS

**FIGURA 9: Ejemplo Red Ferroviaria: Cercanías Metrotren**

### 3.1.4 El Modelo de Producción

La economía nacional se dividió en los 13 sectores básicos considerados por el Banco Central en el registro de cuentas nacionales:

- Agropecuario-Silvícola
- Pesca
- Minería
- Manufactura
- Electricidad, Gas, Agua
- Construcción
- Turismo
- Comercio
- Transporte Comunicaciones
- Servicios Financieros Empresariales
- Propiedad vivienda
- Servicios Personales
- Administración Pública

Esta definición de sectores es similar a la utilizada en MOP (1997). Se estimó la producción para cada uno de estos sectores en cada una de las zonas, incluyendo las importaciones-exportaciones por los distintos puertos, utilizando para ello diversas fuentes oficiales (BCC 2003-2004, CEPAL 2008 SERNAP 2007, SERNAGEOMIN 2007, SII 2007, ENIA 2005). Con base en las estimaciones del Banco Central, se calcularon los coeficientes intersectoriales de insumo-producto. También se estimaron los coeficientes producción-empleos y empleos-población. Para ello se dividió la población en tres estratos y el empleo en cuatro categorías: profesionales, empleados, obreros y rurales. Para estimar la población y el empleo en cada zona se utilizaron los resultados del Censo 2002 (INE 2002).

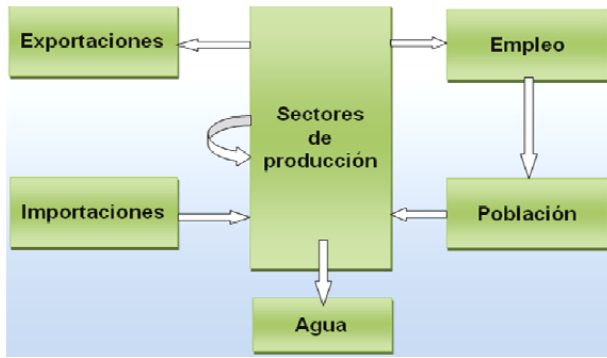
La Figura 10 presenta el esquema general del modelo de usos del suelo desarrollado para este estudio. Los principales componentes son la producción por sector, el empleo por tipo, la población por estrato socioeconómico y el recurso agua. Además la producción puede ser interna o puede ser consumida en el exterior (exportaciones) o producida en el exterior (importaciones).

Las exportaciones constituyen el sector exógeno del sistema, el motor del sistema económico. Las exportaciones consumen determinados bienes y servicios y dan lugar a una compleja cadena de producción y consumo. Para realizar la producción, cada sector requiere insumos de su propio sector y de otros. También se requiere empleos de varios tipos, y los empleos requieren población por estratos económicos.

A su vez la población consume y demanda producción de los sectores, cerrando así un circuito. Adicionalmente se incorporó al esquema el recurso agua, por su importancia estratégica y por ser un recurso que se prevé escaso en el futuro. Cada sector de producción consume agua.

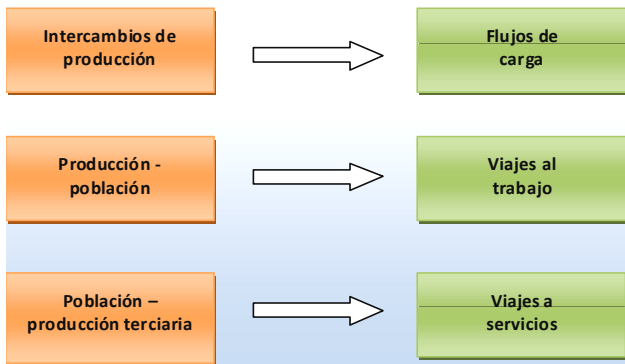
Del esquema de producción y consumo se desprenden los flujos de carga y personas en el sistema de transporte, lo cual se muestra en la Figura 11. Cada intercambio económico genera movimientos de carga de diversos tipos. Las relaciones entre empleo y población generan viajes al trabajo, y finalmente, el consumo de la población genera viajes de personas con propósito servicios (compras, servicios personales, educación, etc.).





Fuente: Elaboración propia

FIGURA 10: Esquema General del Modelo de Producción



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 11: Generación de Flujos de Transporte a partir de la Producción

En la Figura 12 se presentan los gráficos que comparan la producción observada vs modelada para los primeros cuatro sectores, que presentaron grados de ajuste muy elevados ( $R^2 > 0.99$ ) para todos los sectores, incluido empleo y población. Cabe destacar que los valores originales intersectoriales del Banco Central tuvieron que ser modificados para ajustar la simulación.

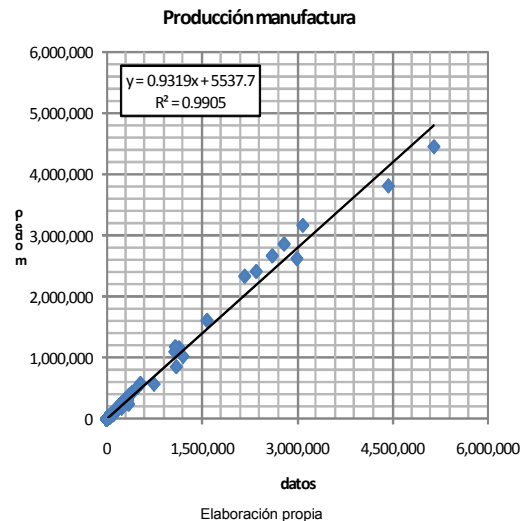
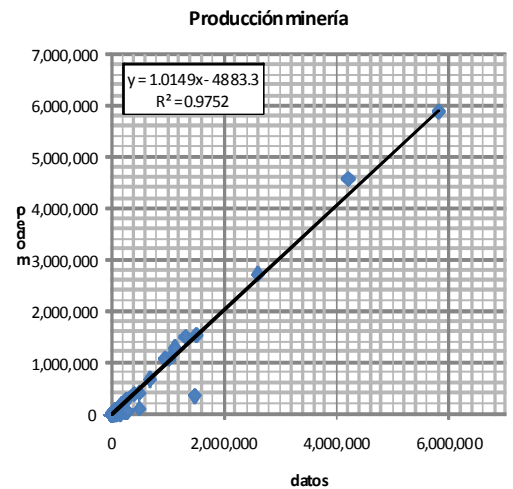
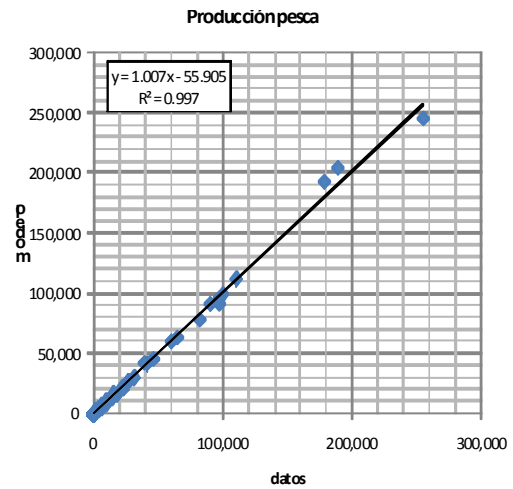
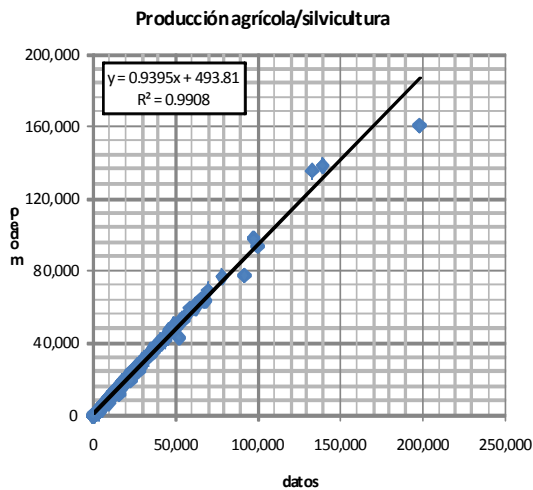


FIGURA 12: Producción Observada/Modelada algunos Sectores

El gráfico de correlación entre los resultados de la modelación y el PIB observado a nivel regional es el que se presenta en la Figura 13, mientras en la Figura 14 se comparan las distribuciones observadas y modeladas de la participación regional en el PIB nacional.

Cabe destacar que el modelo fue calibrado para ser representativo a nivel de comunas, ya que es a este nivel que se simularon los proyectos de transporte.

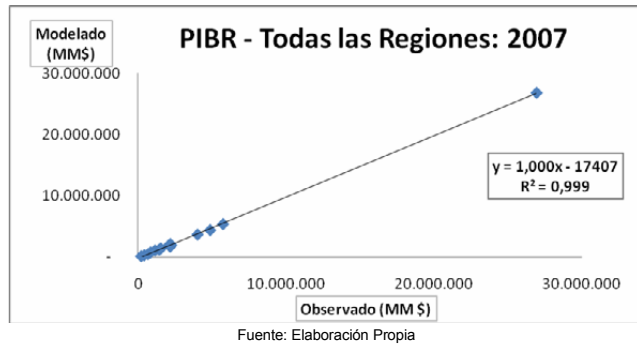


FIGURA 13: Correlación entre PIB Regional Modelado y Observado: Año 2007

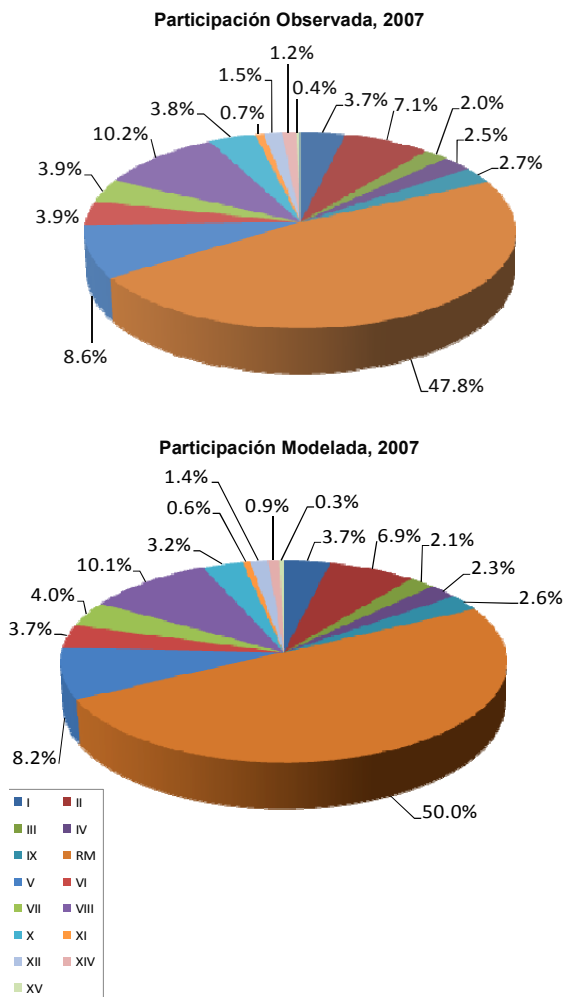


FIGURA 14: Participación Regional en el PIB Nacional, Observado versus Modelado: Año 2007

### 3.1.5 Resultados de Transporte

En la Figura 15 se comparan los resultados del modelo con los conteos de tráfico para un total de 258 puntos distribuidos en todo el territorio. La Figura 16 presenta los principales indicadores de los usuarios de transporte. Las figuras siguientes muestran resultados de la asignación multimodal en diversos sectores por separado para carga y pasajeros, a manera de ejemplo de la presentación de resultados del modelo. Finalmente en la Figura 19 se muestran los resultados para los administradores, principalmente los ingresos diarios por peaje. La red de transporte vial, aérea y acuática, fue codificada con suficiente detalle como para representar una gran cantidad de proyectos de mejoras a futuro.

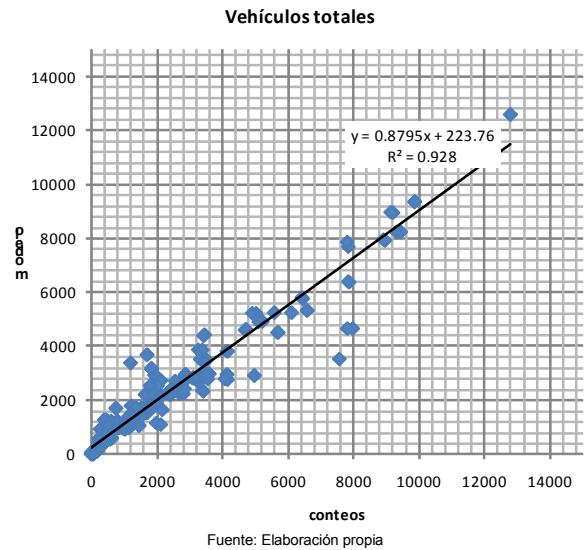
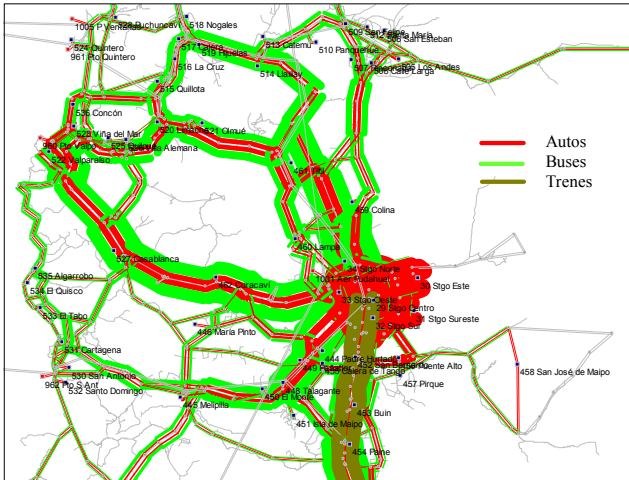


FIGURA 15: Comparación Datos/Modelo para un Conjunto de Estaciones de Conteo

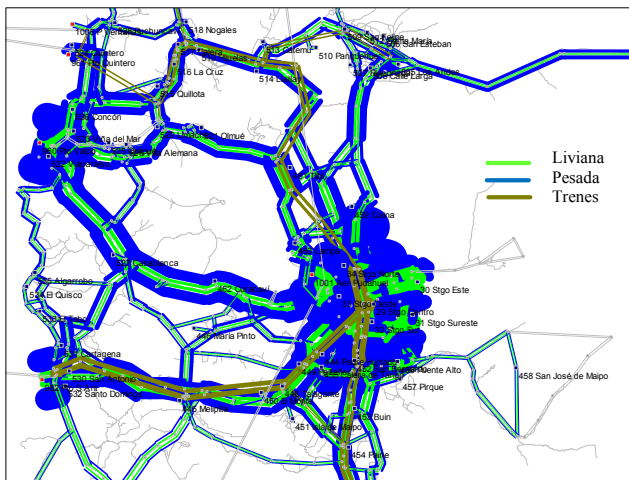
Categoría	Distancia (Km)	Costo (\$)	Tiempo (min)
Pax bajo	86,3	3.026	100
Pax medio	53,4	1.984	71
Pax alto	52,3	2.086	64
Pax servicios	68,0	2.465	83
Pax Totales	70,0	2.525	85
Carga Liviana	74,7	4.417	88
Carga Gral Pesada	120,3	5.199	172
Graneles Líquidos	457,5	17.737	900
Graneles Sólidos	463,9	16.979	704
Contenedores	314,2	12.705	440
Carga totales	132,5	5.781	196

FIGURA 16: Indicadores Medios de Transporte por Categoría de Demanda



Fuente: Elaboración propia modelo TRANUS

FIGURA 17: Asignación de Pasajeros en el Centro por Modo



Fuente: Elaboración propia modelo TRANUS

FIGURA 18: Asignación de Carga (Ton) por Modo en el Centro del País

Administrador	Longitud (Km)	Ingresos (miles \$)
MOP	27.685	39.084
FFCC	3.932	-
Aut Sol	91	24.615
R57 Libertador	72	29.539
R5 Sur	981	151.040
R5 Norte	423	69.210
R68 Sto-Valpo	3	54.498
Acc Norte Concepción	73	21.933
Red LC	3	17.676
Transbordadores	1.381	50.438
Aéreo	3.675	-
Cabotaje	4.431	-
Ductos	173	-
<b>Total</b>	<b>42.921</b>	<b>458.032</b>

Fuente: Resultados de la modelación

FIGURA 19: Longitud de la Red e Ingresos Diarios por Administrador

#### 4. MODELACIÓN DE ESCENARIOS

##### 4.1 Definición de Escenarios

Las proyecciones se realizaron hasta el año 2025. Se definieron dos escenarios macroeconómicos:

**Tendencial:** elaborado en el 2008, supone una tendencia a la baja del PIB, aunque no incluyó los efectos negativos de la crisis 2008-2009.

**Optimista:** elaborado en el 2009 por el FMI hasta el 2014, incluye los efectos de la crisis, y supone un crecimiento moderado a partir del 2010 y superior a 5% a partir del 2013.

Para desarrollar estos escenarios se utilizaron fuentes oficiales (INE 2007, CENIC 2008, MINVU 2008, MOP 2009). El resultado de estas proyecciones en términos del PIB puede verse en la Figura 20.

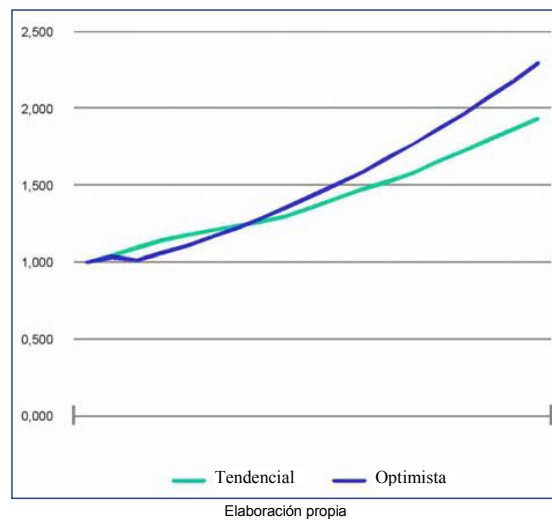


FIGURA 20: Variación del PIB Real - Escenarios Tendencial y Optimista

En la Figura 21 se presentan los escenarios desde el punto de vista del desarrollo de la infraestructura viaria. Mediante simulaciones preliminares se identificaron las denominadas brechas de infraestructura. En el escenario optimista se considera una menor cantidad de proyectos regionales, ya que éstos pasan a convertirse en brechas de infraestructura en un escenario de mayor crecimiento económico. Como se mencionó, la red de transporte en el modelo fue codificada con suficiente detalle como para representar este número de proyectos relativamente elevado, desde rehabilitaciones hasta vías nuevas.

Escenario de Modelación	Escenario Macro	Oferta de infraestructura de transporte	Nº de Proyectos
Objetivo Normal	Tendencial	I- 1: Brechas de infraestructura identificadas en la modelación de la Situación Base Tendencial	59
		I- 2: Proyectos Regionales	41
Objetivo Optimista	Optimista	I- 3: Brechas de infraestructura identificadas en la modelación de la Situación Base Optimista	90
		I- 4: Proyectos Regionales	27

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 21: Escenarios de Modelación



#### 4.2 Resultados de la Modelación

En las tablas a continuación se presentan los principales resultados de la modelación de los dos escenarios, tanto los relativos a la producción como al transporte. En la Figura 22 puede verse que el PIB del escenario optimista es mayor que el normal, aunque sea algo menor en el 2010 por las razones

señaladas. Estas estimaciones son el resultado de la modelación espacial. El modelo calcula el PIB para cada una de las zonas, pero en la tabla se han agregado los resultados por regiones o macrozonas. Destaca que, de acuerdo a los resultados del modelo, en el escenario optimista es la macrozona norte (MZN) la que presenta el mayor impulso.

Macro zona	Escenario Objetivo Normal					Escenario Objetivo Optimista			
	2007	2010	2015	2020	2025	2010	2015	2020	2025
MZN	57.165	62.331	72.605	90.173	116.892	61.931	86.929	124.279	179.201
MZC	213.587	240.893	281.288	334.970	398.882	228.016	296.120	379.646	480.905
MZS	39.254	45.526	50.740	57.897	69.267	42.752	50.932	63.535	82.128
MZA	12.921	15.951	16.107	17.524	20.741	15.267	17.294	21.769	28.137
Total	322.927	364.701	420.740	500.564	605.781	347.965	451.274	589.228	770.371

Resultados de la modelación

**FIGURA 22: Crecimiento del PIB por Escenario**

Si aumenta la producción el modelo supone que va a aumentar también el empleo, como puede verse en la Figura 23. Para el 2025 el escenario optimista presenta 630 mil empleos más que el escenario normal, con particular impacto en las macrozonas norte y central. Los crecimientos de población que se derivan del empleo se presentan en la Figura 24. La diferencia en los totales

entre ambos escenarios es menos notoria, lo cual quiere decir que el crecimiento del PIB se obtuvo por incrementos en la productividad, con un flujo migratorio que no pasaría de las 200 mil personas. La Figura 25 muestra los crecimientos de la población por estrato, con los estratos altos mostrando un incremento mayor en el escenario optimista.

Macro zona	Escenario Objetivo Normal					Escenario Objetivo Optimista			
	2007	2010	2015	2020	2025	2010	2015	2020	2025
MZN	584.241	591.313	634.057	699.893	865.691	611.334	702.920	875.179	1.167.776
MZC	4.690.446	4.986.026	5.467.133	6.025.792	6.500.578	4.955.645	5.602.584	6.237.954	6.741.664
MZS	834.518	933.701	972.042	1.026.832	1.141.850	922.457	945.119	1.037.356	1.182.033
MZA	250.787	303.938	284.585	283.868	306.754	304.010	289.243	316.639	352.900
Total	6.359.992	6.814.978	7.357.818	8.036.385	8.814.873	6.793.445	7.539.865	8.467.128	9.444.373

Resultados de la modelación

**FIGURA 23: Crecimiento del Empleo por Escenario**

Macro zona	Escenario Objetivo Normal					Escenario Objetivo Optimista			
	2007	2010	2015	2020	2025	2010	2015	2020	2025
MZN	1.442.005	1.339.644	1.383.477	1.459.464	1.711.483	1.389.074	1.492.898	1.748.750	2.193.485
MZC	12.261.520	12.530.743	13.325.333	13.990.539	14.267.376	12.498.259	13.361.669	13.827.167	13.898.218
MZS	2.243.220	2.437.370	2.456.627	2.536.584	2.658.646	2.417.951	2.351.780	2.456.272	2.604.888
MZA	646.127	742.903	679.746	641.360	654.020	746.149	683.540	684.976	712.306
Total	16.592.873	17.050.660	17.845.182	18.627.947	19.291.524	17.051.434	17.889.887	18.717.165	19.408.897

Resultados de la modelación

**FIGURA 24: Crecimiento de la Población por Escenario**

Estrato	Escenario Objetivo Normal					Escenario Objetivo Optimista			
	2007	2010	2015	2020	2025	2010	2015	2020	2025
Alto	1.348.457	1.389.028	1.457.606	1.531.979	1.597.884	1.393.446	1.539.422	1.553.321	1.631.954
Medio	6.283.936	6.505.302	6.916.212	7.279.753	7.566.481	6.532.729	6.969.628	7.357.978	7.575.545
Bajo	8.960.480	9.156.330	9.471.365	9.816.215	10.127.159	9.125.259	9.380.837	9.805.866	10.201.398
Total	16.592.873	17.050.660	17.845.182	18.627.947	19.291.524	17.051.434	17.889.887	18.717.165	19.408.897

Resultados de la modelación

**FIGURA 25: Población por Estrato y Escenario**

Si siguiendo la lógica del modelo integrado, la demanda de viajes se incrementa en función del crecimiento de las actividades. La Figura 26 muestra el crecimiento de los viajes diarios de las personas, con el escenario optimista superando al normal en unos 600 mil. Aquí los resultados se presentan de manera muy

agregada, pero el modelo los puede presentar en forma de matrices origen-destino en todo detalle. La Figura 27 presenta el reparto modal de los viajes de personas, con un crecimiento que más o menos mantiene las proporciones actuales.

Tipo	Escenario Objetivo Normal					Escenario Objetivo Optimista			
	2007	2010	2015	2020	2025	2010	2015	2020	2025
Bajo	858.292	953.328	1.060.744	1.150.894	1.174.479	934.603	1.148.663	1.366.068	1.438.840
Medio	1.174.239	1.356.456	1.573.127	1.800.467	1.979.238	1.329.857	1.668.461	2.092.848	2.260.272
Alto	169.702	175.148	192.434	201.662	209.336	172.797	203.282	214.919	225.667
<b>Total</b>	<b>2.202.233</b>	<b>2.484.932</b>	<b>2.826.305</b>	<b>3.153.023</b>	<b>3.363.053</b>	<b>2.437.257</b>	<b>3.020.406</b>	<b>3.673.835</b>	<b>3.924.780</b>

Resultados de la modelación

**FIGURA 26: Pasajeros Diarios por Escenario**

Modo	Escenario Objetivo Normal					Escenario Objetivo Optimista			
	2007	2010	2015	2020	2025	2010	2015	2020	2025
VL	1.029.477	1.181.262	1.307.087	1.484.900	1.563.190	1.162.315	1.378.811	1.700.282	1.729.875
Bus	1.034.608	1.248.887	1.476.754	1.651.103	1.774.015	1.222.809	1.601.241	1.949.305	2.129.034
Tren	53.452	78.138	85.498	93.558	93.924	69.050	85.527	95.421	101.672
Avión	10.871	20.796	23.329	32.708	38.701	20.330	28.865	43.705	53.295

Resultados de la modelación

**FIGURA 27: Pasajeros Diarios por Modo y Escenario**

En el caso de la carga, como puede verse en la Figura 28, el escenario optimista presenta unas 230 mil Ton diarias más, con un crecimiento más que proporcional de los tipos graneles líquidos, sólidos y contenedores, lo cual es consistente con los crecimientos

de la producción. El reparto modal de la carga se mantiene proporcional, como puede verse en la Figura 29. Estos resultados pueden presentarse en mucho más detalle en el modelo, zona-zona por modo, categoría, y una constelación de indicadores.

Tipo	Escenario Objetivo Normal					Escenario Objetivo Optimista			
	2007	2010	2015	2020	2025	2010	2015	2020	2025
Liviana	207.460	211.343	215.981	223.552	233.286	209.730	216.668	224.297	244.733
General	818.733	827.474	841.287	858.169	878.594	820.430	834.538	839.294	875.439
Gr Líquido	140.673	162.829	188.845	226.105	274.750	160.825	204.921	268.057	366.636
Gr Sólido	151.585	172.267	194.667	229.279	274.436	170.694	216.063	280.504	384.024
Contened	55.142	62.169	72.160	84.652	99.683	61.245	76.781	97.341	124.566
<b>Total</b>	<b>1.373.593</b>	<b>1.436.082</b>	<b>1.512.940</b>	<b>1.621.757</b>	<b>1.760.749</b>	<b>1.422.924</b>	<b>1.548.970</b>	<b>1.709.493</b>	<b>1.995.397</b>

Resultados de la modelación

**FIGURA 28: Toneladas Diarias por Tipo y Escenario**

Modo	Escenario Objetivo Normal					Escenario Objetivo Optimista			
	2007	2010	2015	2020	2025	2010	2015	2020	2025
C2E	207.503	211.392	216.042	223.628	233.379	207.503	209.778	216.740	224.396
C+2E	1.225.275	1.294.902	1.380.067	1.502.434	1.658.531	1.225.275	1.282.587	1.432.171	1.632.071
FFCC	68.151	80.648	92.954	111.197	134.328	68.151	79.720	103.795	138.889
Avión	43	49	61	77	92	43	48	73	99
Cabotaje	32.327	33.945	38.296	45.282	54.671	32.327	33.755	43.882	58.946

Resultados de la modelación

**FIGURA 29: Toneladas Diarias por Modo y Escenario**

## 5. CONCLUSIONES

El énfasis de este artículo es la modelación. En este sentido el esfuerzo realizado permitió desarrollar un modelo de insumo-producto con empleo y población, integrado con un modelo de transporte multimodal de carga y pasajeros muy detallado. Todo ello a una resolución espacial también detallada que permitió la evaluación socioeconómica de casi 300 proyectos de mejoras de transporte. Destaca la combinación de las variables económicas, demográficas y sociales con todas las variables del sistema de transporte. Por brevedad no se muestran aquí una gran cantidad de resultados interesantes, tales como los consumos del recurso agua,

la evaluación económica de los proyectos de transporte con detallados efectos en cada sector de la producción y en los estratos de la población. Se trata de un esfuerzo de modelación que seguramente destaca a nivel internacional, ya que la literatura disponible reseña muy pocos esfuerzos comparables.

La utilidad de la herramienta desarrollada es evidente. Para este estudio se explotó la capacidad de comparar y evaluar proyectos de transporte. Destacan la evaluación económica y el consumo energético que el modelo permitió calcular, aunque no se detallaron aquí estos resultados. Pero las posibilidades van mucho más allá.

El modelo desarrollado garantiza la consistencia entre las proyecciones de exportaciones e importaciones, crecimiento del PIB, crecimiento demográfico y expectativas de distribución del ingreso en cada comuna del país, y las consecuencias que puede tener, por ejemplo, en la carga montada en los transbordadores entre Chiloé y Aysén. El modelo permite evaluar proyectos tales como un mejoramiento a un determinado servicio de ferrocarril de cercanías en Concepción, la elasticidad de la demanda ante variaciones en los peajes, o los efectos sobre los servicios de autobuses entre Santiago y Valparaíso si el precio del cobre en el mercado internacional se duplica. ¿Qué ocurre si se baja a la mitad los peajes en la R5 Sur por origen y destino y por categoría de carga y pasajeros? ¿Qué ocurrirá en los servicios de cabotaje basados en Valparaíso si el precio de los combustibles se duplica?

Cabe destacar algunos puntos metodológicos disponibles en el sistema TRANUS. Ningún otro modelo disponible, libre o no, permite modelar las relaciones entre producción, población y transporte multimodal como lo demostrado en este artículo. Destaca el modelo de asignación multimodal probabilístico logit que produce resultados realistas y razonables en condiciones de bajo congestionamiento, que los modelos de asignación por equilibrio no pueden realizar. Destaca también la capacidad del sistema de modelos para representar rutas de transporte público al igual que ductos para minerales.

Los logros reseñados fueron realizados con un mínimo de recursos asignados, parcialmente compensados por el esfuerzo y entusiasmo del equipo de analistas. Existen numerosas debilidades en el trabajo realizado, se requiere más investigación, hay áreas en las que el software TRANUS no pudo responder, o podría haber sido más eficiente. Lo ideal es que el esfuerzo reseñado sea una primera etapa, a la cual sigan diversas mejoras y ampliaciones tanto en la modelación como en las bases de datos.

Lo principal es que tenemos entre manos un modelo de Chile con software libre que puede dar muchas respuestas para anticiparse a planes, o más bien darles soportes y legitimidad, con un nivel de detalle bastante desagregado.

## REFERENCIAS

- Banco Central de Chile; *Cuentas Nacionales de Chile 2003-2004*.
- Banco Central de Chile; *Compilación de Referencia 2003 de las Cuentas Nacionales*.
- Comisión Económica para América Latina (CEPAL); *Bases de Datos y publicaciones estadísticas*, 2008.
- Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad (CNIC); *Estrategia Nacional de Innovación - Volumen I-II*; 2008.
- De la Barra, T. *Towards a Framework for Integrated Land Use and Transport Modelling*. PhD Dissertation, University of Cambridge, UK, 1979.
- De la Barra, T. *Integrated Land Use and Transport Modelling: decision chains and hierarchies*. Cambridge University Press, 1989 (3ª Edición 2005).
- INECON: *Actualización Plan Director de Infraestructura MOP – Resumen Ejecutivo*. Informe presentado al Ministerio de Obras Públicas de Chile, 2010.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE); *XVII Censo Nacional de Población y VI de Vivienda 2002*.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE); *Chile Hacia el 2050, Proyecciones de Población*. 2007.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE); *Datos de Grupos de Ocupación INE*.
- Leontief, W. W. *The Structure of the American Economy 1919-1939*. 2nd ed. 1951. New York: Oxford University Press, 1941.
- Modelistica *Descripción General del Sistema TRANUS*, 2011. [www.tranus.com](http://www.tranus.com)
- Ministerio de la Vivienda y Urbanismo; *Estrategias de Desarrollo Regional (EDR) y Planes Regionales de Desarrollo Urbano (PRDU)*, 2008.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP) *Análisis políticas inversión, precios y regulación de infraestructura–Calibración del modelo*, Consorcio ME&P-MECSA-INECON – Mayo 1997.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP) *Manifiesto Chile 2020– La infraestructura de la próxima década*, 2009.
- Servicio Nacional de Pesca (SERNAP); *Estadísticas de capturas 2000-2007*.
- Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), *Anuarios Estadísticos de Minería*, 2007.
- Encuesta Nacional Industrial Anual 2005 (ENIA)
- Servicio de Impuestos Internos (SII); *Ventas declaradas por comunas*, año 2007.