

### **3 RECOPIACIÓN ANTECEDENTES ESTUDIOS ANTERIORES**

Se ha recopilado una serie de estudios en materia de modelos de transporte cuya área de análisis o lineamientos metodológicos coincide en parte con la cobertura requerida para el presente trabajo. A continuación se presenta la reseña de los estudios revisados, donde se indica aspectos relevantes tales como área de influencia abarcada, metodología empleada, principales resultados y vigencia de la información.

#### **3.1 ESTUDIO DE TRÁNSITO RUTA 66, CAMINO DE LA FRUTA (CIS-2002)**

Este estudio fue realizado por la consultora CIS Asociados Consultores en Transporte S.A. en el año 2002 y fue encargado por la Coordinación General de Concesiones del Ministerio de Obras Públicas.

El objetivo principal de este estudio fue la evaluación social de las distintas alternativas de mejoramiento del corredor que une Pelequén con San Antonio (principalmente pasar de calzada simple a doble calzada), así como la recolección de información de tránsito variada y fidedigna del sector de interés, con el fin de entregar abundantes antecedentes a los potenciales interesados en la concesión de la ruta estudiada. Este estudio se desarrolló bajo un ámbito de red y aplicando el concepto de “Modelo General de Transporte”.

Por otra parte, de las cuatro etapas del modelo general de transporte; se aplicó simultáneamente las etapas de generación de viajes, distribución de viajes y partición modal (Modelos G/A/D), y posteriormente se resolvió la etapa de asignación a la red utilizando el modelo EMME/2.

Respecto a este último modelo, cabe señalar que el “input” requerido para modelar la situación sin y con proyecto, consiste en términos muy agregados en curvas flujo-demora por arco, costos de operación vehicular por arco, y peaje para los arcos que forman parte del proyecto, datos que a su vez son incorporados en funciones de preferencias de elección de ruta. En relación a estos factores es útil mencionar lo siguiente:

Curvas flujo demora: para arcos de calzada doble, se utilizaron expresiones tipo BPR<sup>1</sup>, y para arcos de calzada simple se consideró las especificaciones derivadas por DAGANZO<sup>2</sup>.

Costos de operación vehicular: para estimar estos costos se utilizó el modelo HDM III CH-COPER en su versión de 1989.

---

<sup>1</sup> Manual “Bureau of Public Roads”

<sup>2</sup> Formulación realizada por Daganzo en su artículo “Probabilistic Structure of Two-Lane Road Traffic”, en 1975.

El peaje del Camino de la Fruta en situación con proyecto, se fijó optimizando el ingreso privado a partir del uso de modelos de preferencias, construidos utilizando técnicas combinadas de preferencias declaradas y reveladas.

A grandes rasgos se determinó la demanda en situaciones sin y con proyecto, para cortes temporales en los años 2004, 2009 y 2019; tanto para carga (camiones de 2 ejes y camiones de + de 2 ejes), como para pasajeros (vehículos livianos). Los buses fueron tratados como flujo fijo y por lo tanto no se modelaron con EMME/2; asignándose directamente a los arcos.

Con los resultados anteriores, y los precios sociales en uso (MIDEPLAN 2002), se evaluó las alternativas de proyecto consideradas, utilizando las formas y métodos de cálculo tradicionales. Los ítems considerados fueron:

1. Costos de Inversión
2. Costos de operación y tiempo de viaje
3. Costos por accidentes
4. Costos de conservación.

Los indicadores calculados: TIR, VAN, TRI.

- **Área de Influencia.**

El área de influencia directa considerada en la modelación, contempla alrededor de 90 comunas, pertenecientes a 18 provincias de 3 regiones (V, VI y RM).

- **Zonificación.**

Para la zonificación se definieron áreas de influencia directa e indirecta del corredor, contemplándose distintos niveles de agregación zonal en función del efecto que podría generar el proyecto de la Ruta 66 sobre los viajes que entre las distintas zonas se desarrollan.

Considerando lo anterior, y la cercanía o relevancia para la Ruta 66, se adoptó una desagregación territorial de 71 zonas (lo que significa en algunos casos agregación de comunas y en otros desagregación).

- **Red de Modelación.**

La red de modelación que se definió incorpora la Ruta 66 como también la totalidad de las vías alternativas a los viajes que se desarrollan en torno al corredor, configurando de dicha forma una malla que al menos incorpora la totalidad de las rutas pavimentadas de la VI Región existentes al poniente de la Ruta 5, como también las Provincias de Melipilla (Región Metropolitana) y San Antonio (V Región). Dado que un mercado de gran importancia para el proyecto es aquel que se desarrolla entre el sur del País, incluida la VI Región, y el litoral de la V Región, se complementó la red con aquellas rutas alternativas que permiten la conexión de dichas macrozonas, en particular la Ruta 5 entre la Calera (V Región) y San Rafael

(VII Región), Ruta 68, Autopista del Sol, Ruta 60 y otras longitudinales y transversales que ofrezcan conectividad entre esas rutas principales.

- **Periodización y Estacionalidad.**

A partir de los estudios de base efectuados, se estableció la existencia de 3 épocas en el año que se manifiestan en una clara estacionalidad de los flujos vehiculares, se denominaron: Temporada Normal, Temporada Alta y Temporada de la Fruta.

Por otra parte, de acuerdo a las variaciones horarias al interior de una semana tipo, de cada una de las tres épocas definidas, se estableció 5 períodos;

1. Nocturno
2. Baja de día laboral
3. Alta de día laboral
4. Baja de fin de semana
5. Alta de fin de semana

Estos 5 períodos replicados en iguales o distintos horarios, sobre las 3 semanas tipo, dan origen a 15 períodos diferentes por analizar.

- **Estimación de la Demanda, Año Base.**

A partir de estudios de base extensivos; cientos de puntos de Control de aforos vehiculares y encuestas O/D, desagregados según tipo de vehículo (vehículos livianos, camiones de 2 ejes, camiones de más de 2 ejes y buses sólo en aforos); se construyó matrices O/D (a priori y consolidadas) que “alimentaron” posteriormente el modelo de asignación a la red vial.

- **Proyección de la Demanda: Cortes Temporales 2004, 2009 y 2019**

La proyección de los flujos vehiculares, según si corresponden a vehículos de carga, vehículos livianos o buses interurbanos, se realizó siguiendo distintos procedimientos. Sin embargo se mantuvo la simultaneidad de las tres etapas del modelo general de transporte (generación, distribución y partición modal); lo que implica tratar separadamente cada par O/D.

Para el transporte de carga, se realizaron proyecciones de crecimiento sectorial, aplicables posteriormente a los camiones, según tipo de carga transportada.

Para el transporte de pasajeros en vehículos livianos, se utilizó proyecciones basadas en modelos de corte transversal y temporal; en que las variaciones del nivel de ingreso medio por habitante, en distintas comunas, y su evolución en el tiempo, permitieron conocer tasas de crecimiento por par O/D.

- **Preferencias Declaradas y Reveladas**

El estudio permitió basándose en encuestas de preferencias, construir 7 modelos que permiten relacionar la disponibilidad a pagar de los usuarios por el peaje (para diferentes niveles de ingreso) v/s el tiempo de viaje.

Cabe señalar que el modelo recomendado para temporada normal se apoyó en encuestas de preferencias declaradas, y el modelo sugerido para temporada alta se basó en un mix de encuestas de preferencias declaradas y datos revelados.

- **Calibración de la Red de Modelación**

Como ya se mencionó en términos generales, la calibración del modelo requirió contar con funciones de costos de operación vehicular y curvas flujo-demora. Las primeras se determinaron usando HDM III CH-COPER y las segundas basándose en expresiones tipo BPR para calzadas dobles y curvas Daganzo para calzadas simples. A partir de las matrices O/D a priori, ya calculadas se generan las matrices definitivas.

- **Modelación de Alternativas de Proyecto**

Una vez calibrada la Red de Modelación y observado que se replican apropiadamente las elecciones entre rutas alternativas, se procedió a aplicar el modelo de asignación (EMME/2) con la nueva situación de la Ruta G-66 (situaciones con proyecto) y con las matrices O/D construidas para los cortes temporales 2004, 2009 y 2019.

- **Evaluación de Alternativas de Proyecto**

La evaluación social consideró un horizonte de análisis de 20 años, con un valor residual de la inversión igual a la inversión inicial; la que se realiza durante los dos primeros años. Se usó una tasa social de descuento de 12% y los indicadores alcanzaron valores ligeramente superiores al punto de corte (TIR = 13%); lo que provocó probablemente la iniciativa de concesiones, en cuanto a actualizar el estudio, estableciendo esta vez, la obligación de optimizar la infraestructura propuesta como proyecto.

### 3.2 ESTUDIO DE DEMANDA Y EVALUACIÓN SOCIAL RUTA 66, CAMINO DE LA FRUTA (CITRA-2005).

Este estudio de demanda solicitado por Coordinación General de Concesiones del Ministerio de Obras Públicas, se inscribe en el tipo de proyecto en el cual se espera que los mejoramientos viales induzcan en forma relevante desarrollo de la actividad productiva en su zona de influencia.

El estudio tiene por objetivo principal proponer un plan de inversiones para el mejoramiento integral de la Ruta 66 o Camino de la Fruta, que sea socialmente rentable y que permita su ejecución dentro del sistema de concesiones.

Además, los TDR señalan los siguientes objetivos específicos:

- Cuantificar la demanda por tramos, período y corte temporal, en términos de vehículos y pasajeros.
  - Definir la localización de plazas de peaje y las tarifas óptimas.
  - Estimar los ingresos de la concesión.
  - Determinar la Rentabilidad Social de cada una de las propuestas de mejoramiento, conservación y/o ampliaciones de capacidad de la ruta y enlaces e intersecciones.
  - Determinar el año óptimo de inversión de cada una de las intervenciones propuestas.
  - Proponer un cronograma de intervenciones que considere tipos de obras, cantidades, presupuestos de apalancamiento y año óptimo de intervención.
- 
- **Área de Influencia.**

En primera aproximación se propuso utilizar el área de influencia y la red vial relevante definida en el estudio de referencia (MOP, 2000). Esta red fue actualizada para incorporar cambios relevantes, tales como el nuevo puente sobre el Río Cachapoal entre Las Cabras y El Carmen, que conecta la Ruta 66 hacia el sur por la recientemente pavimentada ruta Las Cabras – Santa Cruz – Chépica – Teno. Si bien esta ruta tiene un estándar inferior a la Ruta 5, al no estar tarifada puede competir en buen pie con esta última, captando demanda que de no existir esta ruta utilizaría el tramo Pelequén – Las Cabras de la Ruta 66

El área de influencia directa considerada en la modelación, contempla alrededor de 90 comunas, pertenecientes a 18 provincias de 3 regiones (V, VI y RM), y no difiere mayormente de la utilizada por CIS, salvo que se agregaron conectores de algunas zonas al norte de San Antonio/Melipilla/Santiago, lo que reduce ligeramente la red vial relevante; y que además se agregó el By - Pass de Rancagua, y otro par de arcos menores.

- **Zonificación.**

Considerando lo anterior, y la cercanía o relevancia para la Ruta 66, se adoptó una desagregación territorial de 72 zonas (lo que significa en algunos casos agregación de comunas y en otros desagregación). Formalmente, se mantiene la zonificación de CIS.

- **Red de Modelación.**

La red vial de modelación se codifica en base a la red vial relevante, definida en la etapa de definiciones básicas. Sin embargo en este estudio, la red de modelación ha sido codificada a partir de la red de modelación generada en el estudio de referencia (MOP, 2000). Esto se debe principalmente a que, al revisar la cobertura de la red de dicho estudio, se aprecia que posee un nivel de detalle más que suficiente para lograr cumplir los objetivos del presente estudio. Además, el uso del modelo de red de dicho estudio (red, zonificación), cuenta con la aceptación de la Contraparte Técnica del presente estudio.

Cabe mencionar que a la red original se le efectuaron algunas modificaciones, correspondientes principalmente a actualizaciones de algunos arcos (pavimentaciones período 2000-2004) y a algunas correcciones a la codificación inicial.

- **Periodización y Estacionalidad.**

Tal como se comentó anteriormente, se establecieron 3 épocas en el año, Temporada Normal, Temporada Alta y Temporada de la Fruta.

Por otra parte, de acuerdo a las variaciones horarias al interior de una semana tipo, de cada uno de las tres épocas estacionales, se definió 5 períodos;

- Nocturno
- Baja de día laboral
- Alta de día laboral
- Baja de fin de semana
- Alta de fin de semana

Estos 5 períodos replicados, en iguales o distintos horarios, sobre las 3 semanas tipo, dan origen a 15 períodos diferentes por analizar. CITRA mantuvo tal periodización.

- **Estimación de la Demanda, Año Base.**

CITRA corrige o mejora las matrices O/D de CIS, a partir de nuevos estudios de base; al menos para la Temporada Verano. Construye las otras matrices a partir de las existentes, corregidas por factores estacionales.

- **Proyección de la Demanda: Cortes Temporales 2004, 2009 y 2019**

Se utilizó proyecciones basadas en modelos de corte transversal y temporal; en que las variaciones del nivel de ingreso medio por habitante, en distintas comunas, y su evolución en el tiempo, permitieron conocer tasas de crecimiento por par O/D.

- **Calibración de la Red de Modelación**

Los aportes de CITRA en este caso son los siguientes:

- Para el cálculo de costos de operación vehiculares, se utilizó la versión de HDM III CH-COPER del año 1998, en lugar de la utilizada por CIS (año 1989). Al respecto ambas versiones difieren significativamente en los resultados que entregan, sobre todo que consideran estructuras del parque vehicular completamente distintas.
- En cuanto a curvas flujo-demora, CITRA ha propuesto nuevas funciones de flujo-velocidad, las cuales son representativas de todos los arcos de la red, e incorporan el roce con el flujo en sentido contrario en caminos de calzada simple.

- **Evaluación de Alternativas de Proyecto**

Se plantea la metodología tradicional en evaluación social, por lo que no hay elementos que requieran caracterización específica. Se evalúan una serie de escenarios, surgiendo un proyecto que posee rentabilidad social de aproximadamente un 17%. Dicho proyecto consiste básicamente en implementar una doble calzada entre Ruta 5 y Las Cabras, más una variante en el sector de El Manzano. El resto de la ruta se mantiene con calzada simple, incorporando una serie de mejoras en radio de giro y segundas calzadas de adelantamiento. También se propone una solución para el Sector Crucero las Arañas.

### 3.3 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE INTERURBANO DE LA MCZ SUR.

Este estudio fue encargado por la Dirección de Planeamiento del Ministerio de Obras Públicas a la firma Consultora Ciprés Ingeniería Ltda., en el año 2001. El estudio consideró la formulación de un modelo de planificación estratégica del sistema de transporte para la Octava Región en plataforma EMME2, con un fuerte apoyo gráfico a través de Sistemas de Información Geográfico.

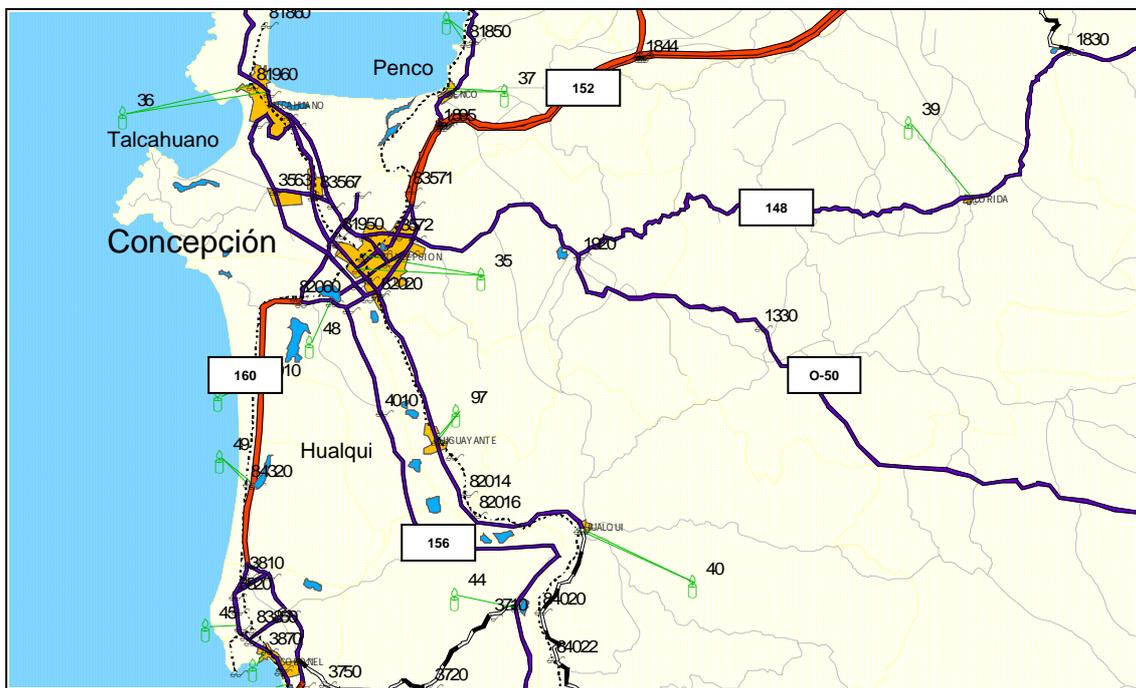
Entre los enfoques considerados en dicho estudio se puede señalar:

- Red Vial de Modelación: Como parte del estudio se construyó una red de modelación en formato EMME2 con una interfaz en el SIG TRANSCAD, lo que permitió disponer de información geo-referenciada de los distintos arcos de la red vial e incorporar fácilmente nuevos arcos a la red vial bajo estudio. Esta red posee la ventaja de incorporar la totalidad de los arcos de la Octava Región y sectores importantes de la Séptima y Novena Región, lo que permite incorporar al análisis el impacto que tiene sobre el sector analizado de grandes proyectos estratégicos, tales como la Ruta de los Conquistadores. En la Figura N° 3.3-1 se presenta un detalle del sector de Concepción.

Cada arco de la red vial fue caracterizado en términos de su longitud, curvatura, pendiente, ancho, estándar e interferencia con zonas urbanas, entre otras cosas, lo que permitió generar alrededor de 50 tipologías de caminos que permiten caracterizar la totalidad de la red vial.

El planteamiento de la red vial apoyada en el SIG (TRANSCAD o ARCVIEW) y su interfaz con el modelo EMME2, facilita enormemente el análisis de las alternativas por lo que este enfoque será adoptado para la construcción de redes y presentación de resultados en el presente estudio.

**Figura N° 3.3-1**  
**Detalle de la Red Vial de Modelación Estudio Estratégico de la Octava Región**



Fuente: elaboración propia

- **Modelo de asignación:** Como parte de este estudio se construyó una red de modelación multimodal EMME2, con un criterio de asignación estocástico multiusuario, el que refleja de forma apropiada el comportamiento de los viajeros y permite realizar una simulación consistente con los criterios de asignación de los viajeros.

Las macros desarrolladas como parte de dicho estudio pueden ser empleadas directamente en la asignación multimodal, aplicando pequeñas modificaciones de acuerdo con los requerimientos del presente estudio, en términos del número de usuarios o tipología de curvas flujo-velocidad.

- **Proyección de Demanda:** La proyección de viajes fue sistematizada incorporando la posibilidad de emplear directamente matrices provenientes de los módulos de demanda de ESTRASUR. Si bien este enfoque depende de los modelos estimados, las aplicaciones desarrolladas pueden ser empleadas íntegramente en el presente estudio.
- **Evaluación de Planes:** La evaluación de planes de proyectos fue sistematizada mediante la construcción de un módulo de evaluación en Visual Basic, el cual facilita el análisis de alternativas y será empleado en la evaluación de planes de proyecto.

### 3.4 PREFACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN AERÓDROMO COMERCIAL EN LA REGIÓN DEL MAULE (GHISOLFO INGENIERÍA DE CONSULTA 2002).

Este estudio desarrollado por Ghisolfo, Ingeniería de Consulta en el año 2002 fue encargado por la Dirección de Aeropuertos del Ministerio de Obras Públicas.

El Objetivo del estudio fue proporcionar antecedentes que permitan seleccionar dos alternativas para la localización de un aeródromo comercial para la VII Región, realizando la correspondiente evaluación técnico económica de ambas, junto con entregar al mandante una herramienta de decisión respecto de su eventual desarrollo.

- **Diagnóstico.**

En este acápite se presenta un análisis de la infraestructura aeroportuaria de la VII Región, para lo cual se seleccionaron 10 aeródromos, desarrollándose una ficha técnica para cada uno de ellos. Una de las conclusiones preliminares fue que sólo el Aeródromo Municipal de Linares es susceptible de ser mejorado, aún cuando se encuentra fuera de servicio. Además se destaca el caso de Panguilemo, actual aeródromo de Talca y propiedad del Club Aéreo, el cual no cumple con las superficies mínimas libres de obstáculos.

- **Proposición de Alternativas.**

Este punto describe el proceso de búsqueda de alternativas para el emplazamiento de un aeródromo comercial, para esto se utilizaron criterios geográficos, poblacionales, aeronáuticos y de infraestructura existente. Complementando lo anterior se realizaron inspecciones aéreas y terrestres a las zonas factibles de acuerdo a los criterios expresados anteriormente. Por último se proponen 4 alternativas, todo lo anterior se encuentra respaldado con abundante información gráfica como planos y fotografías.

- **Ingeniería Básica.**

Se desarrollaron actividades de ingeniería básica tales como estudios topográficos, mediante restitución aerofotogramétrica de vuelos existentes, calicatas y empréstitos, y un estudio meteorológico para cada una de las 4 alternativas planteadas en el punto anterior.

- **Estudio de Demanda.**

En este punto se realiza una recopilación de datos macroeconómicos, producción y viajes, no sólo de la VII Región sino también de varias regiones y ciudades con servicio aéreo comercial, comprobándose que los modelos existentes (Estrasur) no

son aplicables. Se formulan tres modelos de análisis, elaborados especialmente para este estudio: de demanda directa, Powit y de distancia a Santiago, los cuales se proyectan para el año 2010, entregando los siguientes resultados 71.641; 55.216 y 27.158 pasajeros por año respectivamente. De acuerdo a lo anterior se concluye que la demanda no sería suficiente para justificar el establecimiento de un servicio comercial regular. Otros tipos de aviación no son relevantes y las actuales instalaciones en Panguilemo satisfacen adecuadamente sus necesidades.

- **Aspectos Ambientales, Evaluación de Alternativas y Evaluación Económica.**

En cuanto a los aspectos ambientales se establece que cualquier alternativa no presenta grandes impactos al estar alejadas de los centros poblados, privilegiando San Javier y Linares, recomendándose, en el evento de seguir adelante con el proyecto de establecer los instrumentos de gestión territorial que faciliten en el futuro su desarrollo.

En lo referente a la evaluación de alternativas se presenta una evaluación técnica de cada solución: las superficies libres de obstáculo, expropiaciones, cantidades de obra y presupuesto, entre otros parámetros relevantes en forma preliminar para las 4 alternativas (San Clemente, San Javier, Municipal de Linares y Linares Ruta 5) y un avión de diseño Airbus 320 y posteriormente, para las dos alternativas seleccionadas (San Javier y Linares Ruta 5), considerando un avión de diseño regional o “conmuter” tipo Bombardier Q 300.

Por último la evaluación económica es de carácter social para cada una de las dos alternativas seleccionadas, considerando los costos y beneficios sociales, flujo de caja, indicadores de rentabilidad y análisis de sensibilidad, siendo concluyente respecto que ninguna de las dos alternativas presenta rentabilidad.

- **Conclusiones Finales.**

Los estudios efectuados permiten alcanzar los objetivos formulados por la Dirección de Aeropuertos, siendo concluyentes respecto de la falta de demanda y factibilidad económica de desarrollar un aeródromo comercial en la VII Región del Maule.

Se identificaron dos alternativas técnicas de emplazamiento, que permiten el desarrollo de instalaciones aeroportuarias comerciales sin restricciones.

Sin embargo los estudios de demanda son concluyentes respecto de que no es suficiente para establecer un servicio de pasajeros por vía aérea, fundamentalmente por la cercanía con Santiago y el sucesivo mejoramiento de modos alternativos, tales como la Ruta 5 y los servicios ferroviarios.

La evaluación económica social es también concluyente en cuanto a los costos para la sociedad de emprender este proyecto de inversión.

### 3.5 ANÁLISIS Y DESARROLLO EVALUACIÓN SISTEMA DE TRANSPORTE INTERURBANO, IV ETAPA (ASTRA 2001)

Este estudio fue encargado por la SECTRA a la empresa ASTRA Consultores Ltda. Este estudio se inserta dentro del marco de los estudios complementarios de Estrasur y fue orientado a la especificación y calibración de modelos de demanda de pasajeros en la Macrozona Sur del país.

La información base para la estimación de modelos fue recabada a partir de fuentes tales como: las encuestas de viajes realizadas en la Macrozona el año 1993, información estadística de ventas de pasajes aéreos y ferroviarios, Plan Nacional de Censos e información de contadores automáticos de flujos vehiculares, información comunal del sistema de actividades y socioeconómica, además de mediciones específicas de flujos vehiculares y encuestas de preferencias (reveladas y declaradas), estas últimas obtenidas en las temporadas de verano y normal del año 1997.

Una vez procesada esta información, mediante un proceso exploratorio exhaustivo, basado en criterios de carácter econométrico y de consistencia lógica, se analizaron las distintas formas funcionales, variables y segmentaciones, que permitirán representar de manera adecuada y a nivel agregado, la demanda de pasajeros por transporte interurbano en el área señalada anteriormente.

Como resultado del estudio, se obtiene la especificación y calibración de los siguientes modelos de demanda de transporte de pasajeros para la Macrozona Sur, para dos temporadas, Normal y de Verano:

- Modelos de Generación de viajes: su objetivo es hallar relaciones funcionales entre el número de viajes que tiene por origen una zona dada, y ciertas variables o atributos de dicha zona.
- Modelos de Atracción de viajes: su objetivo es hallar relaciones funcionales entre el número de viajes que tiene por destino una zona dada, y ciertas variables o atributos de dicha zona.
- Modelos de Distribución de viajes: su objetivo es hallar relaciones funcionales entre el número de viajes que tienen por origen una zona dada y por destino otra zona dada, y variables o atributos de ambas zonas y el costo de transporte entre las mismas.
- Modelos de Partición Modal: su objetivo es hallar relaciones funcionales entre la proporción de usuarios que elige cada modo alternativo de transporte, y variables o atributos de estos modos,

#### 3.5.1 Modelos desarrollados:

- a) Modelos de Generación-Distribución Conjunta

Como resultado de este estudio y su posterior actualización, se llegó a la conclusión que el modelo conjunto entregó mejores resultados que los obtenidos

de modelos secuenciales independientes. Los modelos resultaron ser función de las siguientes variables:

- HOG : Número de Hogares de la Comuna
- IHOG : Ingreso medio de los Hogares de la Comuna
- NET : Número de Establecimientos de Alojamiento Turístico de la Comuna
- IBE : Índice de Belleza Escénica de la Comuna

Se probaron diversas especificaciones, sin embargo las que entregaron mejores resultados son aquellas que consideran el Ingreso Comunal y el Número de Hogares, presentando resultados muy similares.

El ingreso comunal (PIB), puede ser estimado como el producto del número de hogares (HOG) y el ingreso medio de los hogares (IHOG). De esta manera, basados en los resultados del estudio referencial, la especificación genérica de estos modelos corresponde a la siguiente:

$$V_{ij}^k = [IBE_i \cdot IBE_j]^{\theta_k} \cdot [NET_i \cdot NET_j]^{\phi_k} \cdot [PIB_i \cdot PIB_j]^{\beta_k} \cdot e^{R_{ij}^k + \lambda_k \cdot (EMU_{ij}^k - EMU_0)}$$

$$R_{ij}^k = \theta_0^k + \theta_{RM}^k \cdot [RM_i + RM_j] + \theta_{R5}^k \cdot [R5_i + R5_j] + \theta_{R6}^k \cdot [R6_i + R6_j] + \theta_{CR}^k \cdot [CR_i + CR_j] + \theta_{CP}^k \cdot [CP_i + CP_j]$$

Donde

- $V$  : Viajes totales realizados
- $IBE$  : Índice de Belleza Escénica
- $NET$  : Número de Establecimientos de Alojamiento Turístico
- $PIB$  : Ingreso de la zona (Nº de Hogares · Ingreso por Hogar)
- $EMU$  : Máxima Utilidad Esperada (con  $EMU_0=20$ )
- $RM$  : Variable Dicotómica que vale 1 si la zona pertenece a la Región Metropolitana
- $R5$  : Variable Dicotómica que vale 1 si la zona pertenece a la V Región
- $R6$  : Variable Dicotómica que vale 1 si la zona pertenece a la VI Región
- $CR$  : Variable Dicotómica que vale 1 si la zona corresponde a una Capital Regional
- $CP$  : Variable Dicotómica que vale 1 si la zona corresponde a una Capital Provincial
- $I$  : Subíndice que representa la zona de origen de los viajes
- $J$  : Subíndice que representa la zona de destino de los viajes
- $k$  : Superíndice que representa la categoría de viaje

Los resultados obtenidos en la calibración de esta especificación, para las categorías de demanda consideradas en la temporada de verano, se presentan en la Tabla N° 3.5-1 y Tabla N° 3.5-2.

**Tabla N° 3.5-1  
Modelos Restringidos con Ingreso Comunal  
Generación/Atracción y Distribución Conjunta**

CATEGORIA	FINANCIAMIENTO	OTRO		PROPIO / FAMILIAR					
	INGRESO	TODOS		BAJO		MEDIO		ALTO	
COEFICIENTE	DESCRIPCION	PARAM	T-EST	PARAM	T-EST	PARAM	T-EST	PARAM	T-EST
C(01)	CTE GLOBAL	-16.5248	-10.7287	-9.5533	-4.4563	-21.3016	-11.5332	-7.7272	-3.8409
C(02)	CTE V REG	7.4003	9.4717	7.7308	7.3429	13.3967	14.7789	9.2993	9.6477
C(03)	CTE R.M.	9.7655	12.5390	10.5412	9.9639	15.8913	17.4279	11.3928	11.8004
C(04)	CTE VI REG	7.2546	9.2876	5.7978	5.4559	12.9147	14.2584	7.5740	7.7800
C(05)	CTE CAP PRO	0.4268	4.9276	0.6471	5.9818	0.3029	3.1779	0.3844	3.8530
C(06)	CTE CAP REG	0.1329	1.6410	0.0995	0.9012	0.1788	1.8772	0.2576	2.9353
C(07)	IBE - OPCIONAL							0.1448	4.6994
C(08)	NET	0.2254	10.0272	0.0986	3.4051	0.0973	3.9286	0.2495	9.6429
C(09)	PIB (NHOG*IHOG)	0.2946	8.1642	0.2654	5.4119	0.5264	12.4624	0.3082	6.7794
C(11)	EMU S/AUTO	0.1492	40.9887	0.1835	17.3339	0.2098	19.3863	0.5819	25.1529
C(12)	EMU C/AUTO - NO OPCIONAL			0.2133	20.0748	0.1625	15.5512	0.3496	18.2936
C(13)	EMU C/AUTO - OPCIONAL	0.0354	14.8287	0.2069	18.3227	0.1347	12.7655	0.3008	16.6055
INDICADORES DE AJUSTE ESTADISTICOS	R-Squared	0.2495		0.2503		0.3603		0.5345	
	Adjusted R-Squared	0.2487		0.2481		0.3584		0.5330	
	S.E. of Regression	2.9032		2.4488		2.1416		2.0876	
	Sum Squared Resid	72,433.2700		20,742.5800		16,130.6400		15,166.5900	
	Log Likelihood	-21,373.6900		-8,025.9550		-7,687.2770		-7,519.1440	
	Mean Dependent Var	-3.3331		-1.1916		-0.7559		-1.3171	
	S.D. Dependent Var	3.3494		2.8241		2.6737		3.0549	
	Akaike Info Criterion	4.9706		4.6323		4.3641		4.3134	
	Schwarz Criterion	4.9788		4.6518		4.3833		4.3345	
	Durbin-Watson Stat	1.4716		1.7284		1.5974		1.7024	
	N° Obs	8,604		3,470		3,528		3,492	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 3.5-2  
Temporada Normal Modelos Restringidos con Ingreso Comunal  
Generación/Atracción y Distribución Conjunta**

CATEGORIA	FINANCIAMIENTO	OTRO		PROPIO / FAMILIAR					
	INGRESO	TODOS		BAJO		MEDIO		ALTO	
COEFICIENTE	DESCRIPCION	PARAM	T-EST	PARAM	T-EST	PARAM	T-EST	PARAM	T-EST
C(01)	CTE GLOBAL	-9.2026	-7.2896	-5.4896	-2.5345	-7.5513	-4.0078	-2.6161	-1.3314
C(02)	CTE V REG	3.6595	5.7190	4.2992	3.9878	7.0036	7.7380	9.1584	10.4681
C(03)	CTE R.M.	5.6022	8.7283	6.2641	5.8120	9.3410	10.3102	11.2652	12.9219
C(04)	CTE VI REG	3.0474	4.7727	4.2379	3.9577	6.2968	6.9003	8.1196	9.2738
C(05)	CTE CAP PRO	0.7177	10.2223	0.6921	6.0266	0.8274	8.3015	0.5236	5.4199
C(06)	CTE CAP REG	0.3983	5.8597	0.5564	5.0009	0.2658	2.8596	-0.1051	-1.0217
C(07)	IBE - NO LABORAL					0.0536	1.6902	0.5114	13.9943
C(08)	NET	0.1417	8.4926	0.1528	5.2499	0.1095	4.2516	0.1127	4.5461
C(09)	PIB (NHOG*IHOG)	0.1272	4.2946	0.1171	2.3279	0.2265	5.3297	0.3070	7.4611
C(11)	EMU S/AUTO	0.1453	44.6719	0.0611	14.2575	0.2622	19.2042	0.8895	25.8855
C(12)	EMU C/AUTO - LABORAL			0.1423	16.5316	0.2511	15.4200	0.5793	20.6619
C(13)	EMU C/AUTO - NO LABORAL	0.0768	24.8244	0.0945	11.8304	0.2212	14.2399	0.6718	21.5099
INDICADORES DE AJUSTE ESTADISTICOS	R-Squared	0.2644		0.1976		0.3335		0.4894	
	Adjusted R-Squared	0.2638		0.1953		0.3315		0.4878	
	S.E. of Regression	2.4968		2.4307		2.0856		2.1153	
	Sum Squared Resid	61,492.8300		20,697.0800		15,407.2100		15,651.4300	
	Log Likelihood	-23,040.4500		-8,101.7290		-7,649.3440		-7,604.1050	
	Mean Dependent Var	-3.6233		-1.4763		-1.5733		-2.0518	
	S.D. Dependent Var	2.9099		2.7097		2.5508		2.9557	
	Akaike Info Criterion	4.6689		4.6174		4.3114		4.3397	
	Schwarz Criterion	4.6762		4.6367		4.3322		4.3607	
	Durbin-Watson Stat	1.3816		1.4954		1.7868		1.8127	
	N° Obs	9,874		3,514		3,554		3,510	

Fuente: Elaboración Propia

b) *Modelos de Partición Modal*

Para calibrar este modelo se utilizó antecedentes recogidos sobre oferta de transporte, principalmente tarifas y tiempos de viaje en cada una de las redes correspondientes a los modos de transporte. Se realizó además encuestas de

Preferencias Reveladas y de Preferencias Declaradas a los pasajeros de los diversos modos de transporte.

El estudio de recalibración de los modelos de partición modal de Estrasur, permitió actualizar la base de datos y estimar nuevos modelos, los que fueron estimados exclusivamente en base a datos de preferencias reveladas.

La especificación de los modelos que presentaron los mejores ajustes corresponde a la siguiente:

$$U_i = CTE_i + [\theta_{np} \cdot np + (\theta_{eb} \cdot eb + \theta_{em} \cdot em + \theta_{ea} \cdot ea) \cdot (1 - np)] \cdot Nv \cdot CTO_i + \phi \cdot [KMa_i + KMe_i] + \lambda_i \cdot TV_i \quad \forall i \neq (\text{Auto}; \text{Tren\_Dormitorio}; \text{Avión})$$

$$U_i = CTE_i + [\theta_{np} \cdot np + (\theta_{eb} \cdot eb + \theta_{em} \cdot em + \theta_{ea} \cdot ea) \cdot (1 - np)] \cdot CTO_i + \phi \cdot [KMa_i + KMe_i] + \lambda_i \cdot TV_i \quad i = (\text{Auto}; \text{Tren\_Dormitorio})$$

$$U_i = CTE_i + [\rho_{np} \cdot np + (\rho_{eb} \cdot eb + \rho_{em} \cdot em + \rho_{ea} \cdot ea) \cdot (1 - np)] \cdot Nv \cdot CTO_i + \phi \cdot [KMa_i + KMe_i] + \lambda_i \cdot TV_i \quad i = \text{Avión}$$

donde

- $U_i$  : Utilidad del modo  $i$
- $Nv$  : Tamaño del grupo de viaje
- $CTO$  : Costo de viaje en el modo  $i$  (en \$)
- $KMa_i$  : Distancia de acceso al modo  $i$  (km)
- $KMe_i$  : Distancia de egreso del modo  $i$  (km)
- $Tv_i$  : Tiempo de viaje en el modo  $i$  (min)
- $Np$  : 1 si no paga el viajero o el grupo familiar directo; 0 en otro caso
- $eb$  : 1 si el usuario pertenece al estrato de ingreso bajo; 0 en otro caso
- $em$  : 1 si el usuario pertenece al estrato de ingreso medio; 0 en otro caso
- $ea$  : 1 si el usuario pertenece al estrato de ingreso alto; 0 en otro caso

En la Tabla N° 3.5-3, Tabla N° 3.5-4, Tabla N° 3.5-5 y Tabla N° 3.5-6 se presentan los modelos recomendados para cada temporada.

**Tabla N° 3.5-3**  
**Modelo Puro de PR - Temporada Verano - Sin Distinción de Propósito**

PARAMETRO	DETALLE	TEMPORADA VERANO	
		PARAM	T-EST
CONSTANTE	BUS PULLMAN	-0.462500	-24.34
	BUS EJECUTIVO	-6.229000	-51.48
	BUS SALON	-5.424000	-52.15
	TREN ECO+TUR	-7.392000	-34.22
	TREN SALÓN	-5.585000	-41.37
	TREN DORMITORIO	-5.568000	-4.25
	AVION	0.899700	1.84
ACCESO+EGRESO	TODOS LOS MODOS	-0.023520	-16.80
COSTO OTROS MODOS	NO PAGA	-0.000180	-18.18
	ESTRATO BAJO	-0.000564	-30.14
	ESTRATO MEDIO	-0.000488	-42.46
	ESTRATO ALTO	-0.000217	-30.10
COSTO AVION	NO PAGA	-0.000097	-8.76
	ESTRATO BAJO	-0.000359	-14.59
	ESTRATO MEDIO	-0.000309	-16.98
	ESTRATO ALTO	-0.000123	-11.52
TIEMPO DE VIAJE	BUS PULLMAN	-0.022440	-17.53
	BUS EJECUTIVO	-0.009514	-7.21
	BUS SALON	-0.008470	-6.42
	TREN ECO+TUR	-0.008093	-11.78
	TREN SALÓN	-0.007895	-10.36
	TREN DORMITORIO	-0.005474	-3.78
	AVION	-0.102800	-10.88
	AUTO	-0.018930	-14.45
ESTADIGRAFOS	LL(0)		-84,633
	LL(C)		-29,375
	LL(0f)		-22,929
	RHO(0)		0.72910
	RHO(C)		0.21940
	NºOBS		7,337
	PESO OBS		47,549

Fuente: Estrasur IV Etapa

**Tabla N° 3.5-4**  
**Valores Subjetivos del Tiempo**  
**Modelo Puro de PR - Temporada Verano - Sin Distinción de Propósito**

TEMPORADA/PROPOSITO		TEMPORADA VERANO			
ESTRATO		NO PAGA	BAJO	MEDIO	ALTO
VALORES SUBJETIVOS DEL TIEMPO (\$/MIN)	BUS PULLMAN	96	26	29	73
	BUS EJECUTIVO	27	10	13	35
	BUS SALON	38	10	10	29
	TREN ECO+TUR	23	9	9	18
	TREN SALÓN	31	8	9	21
	TREN DORMITORIO	30	10	11	25
	AVION	869	269	296	651
	AUTO	105	34	39	87

Fuente: Estrasur IV Etapa

**Tabla N° 3.5-5**  
**Modelo Puro de PR - Temporada Normal - Sin Distinción de Propósito**

PARAMETRO	DETALLE	TEMPORADA NORMAL	
		PARAM	T-EST
CONSTANTE	BUS PULLMAN	-0.077690	-3.63
	BUS EJECUTIVO	-4.398000	-68.61
	BUS SALON	-6.913000	-44.03
	TREN ECO+TUR	-8.592000	-35.95
	TREN SALÓN	-4.463000	-65.25
	TREN DORMITORIO	-7.080000	-25.75
	AVION	1.013000	4.50
ACCESO+EGRESO	TODOS LOS MODOS	-0.016730	-23.11
COSTO OTROS MODOS	NO PAGA	-0.000050	-8.70
	ESTRATO BAJO	-0.000567	-37.56
	ESTRATO MEDIO	-0.000322	-33.71
	ESTRATO ALTO	-0.000119	-19.53
COSTO AVION	NO PAGA	-0.000010	-4.19
	ESTRATO BAJO	-0.000320	-36.11
	ESTRATO MEDIO	-0.000180	-35.77
	ESTRATO ALTO	-0.000073	-22.46
TIEMPO DE VIAJE	BUS PULLMAN	-0.022870	-34.60
	BUS EJECUTIVO	-0.016560	-24.00
	BUS SALON	-0.010450	-14.05
	TREN ECO+TUR	-0.009126	-19.71
	TREN SALÓN	-0.010800	-28.95
	TREN DORMITORIO	-0.005865	-14.63
	AVION	-0.098940	-21.28
	AUTO	-0.024190	-34.91
ESTADIGRAFOS	LL(0)		-91,591
	LL(C)		-36,657
	LL(0f)		-29,389
	RHO(0)		0.67910
	RHO(C)		0.19830
	NºOBS		8,651
	PESO OBS		51,070

Fuente: Estrasur IV Etapa

**Tabla N° 3.5-6**  
**Valores Subjetivos del Tiempo**  
**Modelo Puro de PR - Temporada Normal - Sin Distinción de Propósito**

TEMPORADA/PROPOSITO		TEMPORADA NORMAL			
ESTRATO		NO PAGA	BAJO	MEDIO	ALTO
VALORES SUBJETIVOS DEL TIEMPO (\$/MIN)	BUS PULLMAN	340	28	50	142
	BUS EJECUTIVO	285	23	35	97
	BUS SALON	188	12	25	69
	TREN ECO+TUR	182	7	10	
	TREN SALÓN	107	14	24	55
	TREN DORMITORIO	117	10	18	49
	AVION	7,344	202	420	901
	AUTO	482	43	75	203

Fuente: Estrasur IV Etapa

### 3.6 ESTRASUR, ETAPAS V, VI Y VII (MODELOS DE DEMANDA DE CARGA)

Estos estudios, al igual que el anterior se insertan dentro del marco de los estudios complementarios de Estrasur y fueron orientados a la especificación y calibración de modelos de demanda de carga en la Macrozona Sur del país. Específicamente los estudios consideraban la modelación de las siguientes agrupaciones de productos:

- Etapa V: Productos agropecuarios, fertilizantes y combustibles (CIS)
- Etapa VI: Productos minerales, manufacturados y otros (ASTRA Ltda.)
- Etapa VII: Productos forestales (INECON)

La información base empleada en la estimación de modelos proviene principalmente del análisis del sistema productivo asociado a cada uno de los productos involucrados, a través de entrevistas a agentes productivos y análisis de las estadísticas de producción de cada uno de los productos.

Como resultado del estudio, se obtiene una serie de modelos de Generación, Atracción y Distribución Conjunta de Viajes (Modelos de Demanda Directa) y de Partición Modal, para cada uno de los productos considerados.

De esta manera, estos estudios aportan información valiosa para predecir el desarrollo productivo de la zona bajo estudio, en particular en relación a la capacidad de la zona de desarrollarse en el sector forestal.

- **Modelos de Carga Agrícola y Combustibles.**

Este estudio considera la estimación de modelos de Generación, Atracción, Distribución y Partición Modal, para los productos agrícolas, fertilizantes y combustibles, que se presentan en la Tabla N° 3.6-1.

**Tabla N° 3.6-1  
Categorización de Cargas modelo ESTRASUR**

Nº	Producto
1	Remolacha
2	Trigo
3	Papas
4	Otros cultivos Industriales
5	Pomáceas
6	Tomate industrial
7	Vid
8	Otras Frutas y hortalizas
9	Frutas y Hortalizas
10	Ganado
11	Azúcar
12	Leche
13	Agroindustriales no exportables
14	Agroindustriales de exportación
15	Combustible
16	Fertilizantes

**Fuente:** Estrasur

Los modelos estimados presentan un alto grado de complejidad y no pueden ser empleados directamente en el presente estudio, sino que, en caso que se desee emplear estas estimaciones, es preciso remitirse a las matrices predichas por el modelo. Se debe notar que estos modelos, al igual que los modelos forestales y de carga manufacturada, han sido implementados computacionalmente y las matrices resultantes se encuentran en formato STAN por lo que pueden ser leídas directamente por Emme2.

No obstante para mostrar el nivel de complejidad a continuación se presenta la metodología empleada.

a) Modelos de generación/atracción

La modelación de la generación de productos agropecuarios se aborda mediante un modelo de uso de suelo, que asigna superficies por comuna a los distintos usos definidos (remolacha, trigo, papas, otros cultivos industriales, pomáceas, tomate industrial, vid vinífera, otras frutas y hortalizas, y actividad pecuaria) en función de características técnicas y económicas en la zona. Al ponderar la superficie asignada a un uso por el rendimiento zonal correspondiente, es posible determinar la producción del cultivo agrícola o de la actividad ganadera en la zona. Las características del modelo se presentan en la Tabla N° 3.6-2:

**Tabla N° 3.6-2**  
**Relación entre variables de Uso de Suelo Caso Agrícola**

Variable dependiente	Variables explicativas (por comuna)
Superficie comunal destinada por uso	Tipo de suelo
	Ingreso del productor
	Accesibilidad a los principales destinos
	Área geográfica

Fuente: Elaboración Propia

La superficie comunal destinada por uso se obtuvo, para la estimación del modelo, de los resultados del VI Censo Agropecuario (INE, 1997). Las variables explicativas utilizadas fueron:

- Tipo de suelo: Se utilizó la clasificación de suelos de CIREN, que distingue según si el suelo es de riego o seco, la capacidad de producción agrícola. Esta variable puede verse modificada con la introducción de proyectos de riego, aspecto que se recoge en la fase predictiva del modelo.
- Ingreso del productor: Corresponde al resultado de la venta de la producción obtenida, que depende del rendimiento, al precio esperado en la comuna respectiva. El rendimiento fue obtenido en la mayoría de los casos del Censo Agropecuario, en tanto el precio del producto se obtuvo de antecedentes de ODEPA y criterios aportados por especialistas. En fase predictiva, resulta necesario realizar estimaciones de precios y rendimientos.

- **Accesibilidad:** Con el fin de recoger el efecto del sistema de transporte sobre la decisión de cultivo del productor, se define una medida asociada a la importancia de los principales destinos y los costos de transporte asociados. Evidentemente, esta variable permite establecer el efecto esperado de un cambio en el sistema de transporte.
- **Área geográfica:** Se modela empleando variables dummy en conjunto con otras variables explicativas, y recoge efectos específicos (e.g. clima) que no pudieron incorporarse explícitamente al modelo. Algunas variables empleadas se refirieron a zonas cuyas características corresponden al seco costero, o bien a aquellas comunas que se encuentran en la precordillera, donde las condiciones climáticas y topográficas dificultan la producción agropecuaria.

Cabe destacar que se estiman además modelos de corte temporal, utilizando información de producción o consumo nacional de determinados productos, con el fin de acotar las predicciones del modelo de uso de suelo.

En el caso de productos agroindustriales, se emplean factores insumo/producto que se aplican sobre la atracción correspondiente. Finalmente, en el caso de fertilizantes y combustibles la generación se obtiene directamente de los resultados de los modelos de atracción y de la definición de áreas de influencia.

#### b) Modelos de atracción

Se estimaron modelos que relacionan el flujo total destinado a una comuna con características demográficas, económicas o de atractividad de la comuna. De este modo, el modelo recoge potenciales cambios en el número de habitantes, el nivel de ingreso o las características del sistema de transporte.

En el caso de los fertilizantes, se determinan los requerimientos técnicos por tipo de cultivo. Dichos factores, que se mantienen constantes, se ponderan por la superficie total predicha por el modelo de uso de suelo, obteniéndose la atracción comunal por este tipo de productos.

#### c) Modelos de distribución

La estimación de los modelos de distribución se realiza, para cada producto y temporada en que se moviliza, usando el enfoque de máxima entropía de la forma:

$$T_{ij}^k = A_i^k O_i^k B_j^k D_j^k \exp(-\beta^k \cdot c_{ij}^k)$$

donde los vectores O y D, corresponden a los vectores de generación y atracción, y los parámetros A y B son los factores de balance. En este caso, se asume que la decisión depende del costo generalizado de transporte por

unidad de flujo del producto  $k$  entre las zonas  $i$  y  $j$ . La definición del costo generalizado depende de la disponibilidad modal.

En todos los casos se analiza la información disponible del sistema de actividades, así como los antecedentes obtenidos en las entrevistas a agentes relevantes. En algunos productos se dispone de matrices origen – destino, en tanto en otros casos sólo se dispone de criterios generales respecto de la forma en que se movilizan estos productos. En aquellos casos en los cuales no se dispone de ninguno de estos antecedentes, se recurre a los antecedentes recopilados en las encuestas carreteras de carga, estimando un modelo de entropía, lo que permite determinar la matriz de carga aplicando el parámetro de distribución estimado sobre los vectores origen – destino correspondientes.

d) Modelos de partición modal

La disponibilidad de modos de transporte se analiza utilizando los antecedentes reportados por los distintos agentes del sistema de actividades, estableciéndose que sólo tres productos (trigo, fertilizantes y azúcar) pueden utilizar el modo ferroviario como alternativa al camión. Lo anterior debido a que el ferrocarril presenta ventajas comparativas en el traslado de grandes volúmenes de carga o en grandes distancias, pero en el sector agropecuario se observa un alto grado de atomización en productores, así como en intermediarios y/o mercados de destino, lo que no permite lograr las economías de escala propias del transporte ferroviario. A lo anterior se debe agregar dificultades en la accesibilidad al servicio ferroviario, problemas de confiabilidad y mermas, que condicionan la potencialidad del servicio. Es por ello que se estima que el resto de los productos resultan en la práctica cautivos del transporte carretero.

El modelo de elección modal se estima en base a encuestas de preferencias declaradas, dado el escaso número de elecciones modales observadas existente. Para su aplicación se requiere agregar el modelo, lo que se realiza considerando flujos observados en modo ferroviario, y variables de servicio por modo.

- **Modelos de Carga Manufacturada.**

Al igual que en el estudio anterior, el objetivo de este estudio fue el de estimar modelos de demanda de transporte para los sectores **mineros y manufactureros** en la Macrozona Sur y, mediante su utilización, estimar la demanda de transporte para los años 1997, 2000, 2005, 2010 y 2020. Los modelos son:

- Modelos de generación y modelos de atracción, que permiten estimar la producción y el consumo en cada una de las comunas de la macroregión.

- Modelos de distribución, que predicen hacia qué destino se dirige la carga que sale de cada comuna.
- Modelos de partición modal, que permiten estimar el modo de transporte en que será despachada una carga, dados ciertos requerimientos de tiempo y de manipulación y las ventajas que presenta cada uno de los modos disponibles.

Los productos considerados están en la Tabla N° 3.6-3:

**Tabla N° 3.6-3**  
**Variables Modelo de Carga Manufacturada**

N°	Producto
1	Bienes Consumo Humano
2	Bebidas Productor Distribuidor
3	Bebidas Distribuidor Consumidor
4	Mineral de Hierro
5	Acero
6	Cemento
7	Carbón Nacional
8	Carbón Importado
9	Otros Minerales No Metálicos
10	Caliza
11	Cloro
12	Sal
13	Bienes Consumo Industrial

**Fuente:** Estrasur

Al igual que en el caso anterior, los modelos estimados presentan un alto grado de complejidad y formas y estructuras muy disímiles, lo que impide que sean empleados directamente en el presente estudio, por lo que si se desean emplear directamente las estimaciones de Estrasur, es preciso remitirse a las matrices predichas por el modelo.

a) Modelos de Generación y Atracción

La estimación de modelos de generación y atracción consideró la particularidad de la información recogida para cada uno de los productos considerados. Es así como se determinaron los siguientes tipos de modelos:

- **Series de tiempo:** para determinar el crecimiento del consumo y producción de cemento, acero y carbón
- **Relaciones funcionales:** para la estimación de bienes de consumo humano, otros minerales y bienes de consumo industrial
- **Relaciones insumo producto:** para los productos Caliza, Carbón, Mineral de Hierro, Cloro y Sal

## b) Modelos de Distribución

La estimación de los modelos de distribución se realizó, para cada producto y temporada en que se moviliza, usando el enfoque de máxima entropía de la forma:

$$T_{ij}^k = A_i^k O_i^k B_j^k D_j^k \exp( -\beta^k \cdot c_{ij}^k )$$

donde los vectores O y D, corresponden a los vectores de generación y atracción, y los parámetros A y B son los factores de balance. En este caso, se asume que la decisión depende del costo generalizado de transporte por unidad de flujo del producto k entre las zonas i y j.

## c) Modelos de Partición Modal

Considerando la naturaleza de los productos analizados muy pocos de estos poseen factibilidad de realizar transporte multimodal. Sólo en aquellos casos en que se determinó una participación efectiva en ferrocarril, se estimaron modelos agregados de partición modal, tal es el caso de los productos de acero y cemento.

### • **Modelo de Carga Forestal**

Los objetivos específicos de este estudio consistían en calibrar los siguientes tres modelos para simular y predecir la operación del sistema interurbano de carga forestal:

- Modelo de generación y atracción de transporte de carga forestal, por período y producto;
- Modelo de distribución del transporte de carga forestal, por período y producto;
- Modelo de partición modal, por período y producto.

Para satisfacer los objetivos indicados, se realizó un análisis profundo del sector forestal en la Macrozona Sur, el que representa alrededor del 90% del total del sector en el país. Se analizaron los inventarios de plantaciones y bosque nativo disponibles, y, agregando supuestos fundados de tasas de crecimiento y modalidades de manejo forestal – edad de rotación y tipos de corta – se modeló la disponibilidad de materia prima según tipo y por comuna de origen entre el año 2000 y el 2020.

Este estudio considera la estimación de matrices para los productos forestales que se ven en la Tabla N° 3.6-4:

**Tabla N° 3.6-4**  
**Variables Modelo de Carga Forestal**

N°	Producto
1	Troz as serrables de pino
2	Troz as pulpables de pino
3	Troz as pulpables de eucaliptus
4	Celulosa
5	Papel periódico
6	Otros papeles y cartones
7	Madera aserrada
8	Madera procesada
9	Tableros y chapas
10	Astillas
11	Leña

**Fuente:** Estrasur

A diferencia de los estudios anteriores, por la naturaleza del sector forestal, este estudio no considera la estimación de modelos de demanda formales, sino que genera un algoritmo mediante el cual es posible conocer las tendencias de crecimiento del mercado forestal. Esto permite por una parte tener buenas estimaciones de las demandas futuras, las que pueden ser aprovechadas directamente en el presente estudio, sin embargo, no puede ser sistematizado, sino que debe ser complementado con las estimaciones de ESTRASUR.

El Planteamiento de Modelación desarrollado considera cinco modelos básicos de simulación que incluyen todos los productos forestales relevantes:

- a) Modelo de Generación de Trozas: comprende la etapa de generación del recurso básico de la cadena industrial del sector forestal, correspondiente a las trozas de plantaciones, cuyo destino son la industria local y la exportación. Está vinculado a un proceso cuasideterminístico debido a la naturaleza del ciclo de rotación forestal. Con el desarrollo de este modelo se simula el ciclo productivo de las plantaciones para todas las comunas relevantes y se determinan los volúmenes de cosecha para cada uno de los períodos considerados en el estudio. Se identifican y proyectan separadamente tres tipos de productos: trozas pulpables de pino, trozas pulpables de eucaliptus y trozas aserrables de pino.
- b) Modelo de Generación y Atracción de Productos Industriales: corresponde a la etapa de atracción de trozas por parte de las distintas industrias forestales, la generación de los productos industriales que se elaboran a partir de esta materia prima y a la atracción de los mismos por parte de las unidades consumidoras. Conceptualmente las etapas de atracción de trozas y generación de productos industriales corresponde a dos fases de modelación, sin embargo, la ligazón espacial y de escala existente entre ambas, donde el destino de la materia prima corresponde al origen del producto industrial y los volúmenes se relacionan por factores técnicos de conversión, ha permitido el planteamiento del proceso conjunto como una sola etapa en los modelos de demanda.

- c) Modelo de Distribución de Carga Forestal: está asociado al proceso de distribución espacial de los productos, originado por la necesidad de transporte entre puntos espacialmente distantes sujeto a restricciones de costo. Dentro del sector forestal, estos modelos se aplican al transporte existente en las dos etapas de la cadena productiva: a las trozas, generadas en los bosques y demandadas en las plantas y como exportación, y a los productos industriales, generados en las plantas y demandados como exportación y localmente.
- d) Modelo de Partición Modal de Producción Forestal: comprende la etapa de elección del modo de transporte entre un determinado par origen - destino, producto y período. En el caso de productos forestales el análisis se restringe a los modos camión y ferrocarril. Consistente con el criterio general de racionalidad económica existente en el sector, en la elección del modo se elige aquel que minimiza los costos y se encuentra disponible. Las excepciones fueron debidamente identificadas. De notar es que el análisis de la situación actual aparece distorsionado por la deteriorada situación del servicio ferroviario.
- e) Modelos de Demanda de Transporte de Leña: debido a la naturaleza del proceso industrial asociado a la leña, a su mecanismo de comercialización y de transporte y a que su origen se asocia básicamente con el bosque nativo, no es posible asociar este producto al resto de la industria forestal en estudio, por lo que se ha planteado por separado todas sus etapas de modelación. Es un producto que se transa normalmente en el mercado informal, originado en cientos de pequeños productores y destinado a miles de pequeños consumidores. El transporte se da sobre distancias muy reducidas, normalmente intracomunal, no existiendo estadísticas confiables de su producción y transporte. Sí existen importantes antecedentes de que se trata de volúmenes de cargas menores y en declinación. El modelo de simulación diseñado para este rubro supone que la generación de leña sólo se da en las comunas que poseen bosque nativo y que ésta se destina a los centros de consumo residencial, industrial y comercial suponiendo las tasas que sugieren las escasas estadísticas disponibles.

<b>3</b>	<b>RECOPIACIÓN ANTECEDENTES ESTUDIOS ANTERIORES.....</b>	<b>3-1</b>
3.1	ESTUDIO DE TRÁNSITO RUTA 66, CAMINO DE LA FRUTA (CIS-2002) .....	3-1
3.2	ESTUDIO DE DEMANDA Y EVALUACIÓN SOCIAL RUTA 66, CAMINO DE LA FRUTA (CITRA-2005). .....	3-5
3.3	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE INTERURBANO DE LA MCZ SUR. ....	3-8
3.4	PREFACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN AERÓDROMO COMERCIAL EN LA REGIÓN DEL MAULE (GHISOLFO INGENIERÍA DE CONSULTA 2002). ....	3-10
3.5	ANÁLISIS Y DESARROLLO EVALUACIÓN SISTEMA DE TRANSPORTE INTERURBANO, IV ETAPA (ASTRA 2001).....	3-12
3.5.1	Modelos desarrollados:.....	3-12
3.6	ESTRASUR, ETAPAS V, VI Y VII (MODELOS DE DEMANDA DE CARGA) .....	3-18