

ESTIMACION DE DEMANDA PARA UN NUEVO SERVICIO FERROVIARIO DE PASAJEROS

Juan de Dios Ortúzar S., Paula Armstrong K., Ana María Ivelic Z.,

Juan Carlos Muñoz A., Andrés Villaseca C.

Departamento de Ingeniería de Transporte

Pontificia Universidad Católica de Chile

Casilla 306, Código 105, Santiago 22

RESUMEN

El problema de cómo estimar la demanda potencial por un nuevo servicio de transporte entre dos lugares geográficos determinados, si en el año base no existe un servicio semejante en el país, era prácticamente imposible de tratar en forma adecuada hasta hace pocos años. Esto se conoce como el problema de la *alternativa nueva* en modelación de demanda de transporte.

Si la nueva alternativa que se quiere modelar opera en un contexto similar al del área de estudio, es posible recolectar información sobre *preferencias reveladas* en aquel contexto, usarla para estimar un modelo de *elección discreta*, y posteriormente *transferirlo* al caso de interés. Si esto no ocurre, la mejor alternativa es recolectar información de *preferencias declaradas* y utilizarla para estimar el modelo de elección (ver Ortúzar y Willumsen, 1994).

En este trabajo se presenta una aplicación de la tecnología de modelación discreta con preferencias declaradas (PD) para estimar la demanda potencial por un nuevo servicio de tren rápido entre Santiago y Valparaíso.

En el estudio se definió un universo potencial de usuarios en base a la ubicación de las estaciones terminales e intermedias del nuevo servicio en Santiago, Viña del Mar y Valparaíso, y a la especificación de las características de nivel de servicio ofrecidas. Luego, mediante un esquema de predicción simplificado se resolvió en forma independiente las etapas del modelo clásico de transporte.

1. INTRODUCCION

El problema de cómo estimar la demanda potencial por un nuevo servicio de transporte (en este caso, ferroviario de pasajeros) entre dos lugares geográficos determinados, si en el año base no existe un servicio semejante en el país, era prácticamente imposible de tratar en forma adecuada

hasta hace pocos años. Esto se conoce como el problema de la *alternativa nueva* en modelación de demanda de transporte.

Si la nueva alternativa que se quiere modelar opera en un contexto similar al del área de estudio, es posible recolectar información sobre *preferencias reveladas* (PR) en aquel contexto, usarla para estimar un modelo de *elección discreta*, y posteriormente *transferirlo* al caso de interés. Si esto no ocurre, la mejor alternativa es recolectar información de *preferencias declaradas* (PD) y utilizarla para estimar el modelo de elección (ver Ortúzar y Willumsen, 1994 para una acabada discusión sobre todos los temas destacados en este párrafo).

En este trabajo se presenta una aplicación de la tecnología de modelación discreta con preferencias declaradas (PD) para estimar la demanda potencial por un nuevo servicio de tren rápido entre Santiago y Valparaíso. Como se trata de una aplicación privada, el trabajo discute el tema en forma conceptual y sólo presenta los principales resultados de la modelación considerando datos de PD.

El resto del documento está organizado de la siguiente forma. En la Sección 2 se fundamentan sucintamente los aspectos metodológicos del estudio. En la Sección 3 se discuten los requerimientos de información, considerando tanto los aspectos de diseño de la encuesta como los principales resultados del proceso de toma de datos de PD. La Sección 4 presenta los mejores modelos estimados con estos datos y discute su bondad estadística; la Sección 5 describe brevemente cómo usar estos modelos en modalidad predictiva y la Sección 6 resume nuestras principales conclusiones.

2. FUNDAMENTOS METODOLOGICOS

En la teoría de la utilidad aleatoria (Domencich y McFadden, 1975) se postula que cada opción A_i , perteneciente al conjunto de alternativas disponibles para ser elegidas por un individuo q , $A(q)$, tiene asociada una utilidad neta U_{iq} que depende de sus atributos y de las características del individuo. Así, para que A_i sea elegida se debe cumplir que $U_{iq} > U_{jq}, \forall A_j \in A(q)$. Sin embargo, como el modelador no posee información completa sobre el problema, sólo puede calcular una parte de la utilidad, V_{iq} , denominada *utilidad representativa* y debe postular una componente de *error estocástico*, ε_{iq} , a fin de explicar la aleatoriedad que percibe en el proceso de elección. Por lo tanto, ε_{iq} considera tanto errores de medición como todos aquellos elementos del proceso de decisión individual que el modelador desconoce.

Generalmente se asume que la relación entre estas dos componentes es lineal y aditiva:

$$U_{iq} = V_{iq} + \varepsilon_{iq} \quad (1)$$

y que la relación entre la utilidad representativa y los atributos de una determinada opción es también aditiva y lineal en los parámetros:

$$V_{iq} = \sum_{k=1}^K \theta_{ik} X_{ikq} \quad (2)$$

en que los parámetros θ_{ik} son interpretables como utilidades marginales de los atributos X_{ikq} .

Así, si se conoce la elección que realizó el individuo q , es posible afirmar que U_{iq} es mayor (o al menos igual) que U_{jq} para toda otra alternativa en $\underline{A}(q)$, su conjunto de opciones disponibles.

Sin embargo, el modelador sólo es capaz de observar V_{iq} y por lo tanto debe asumir una distribución de probabilidad para los errores ε_{iq} dando origen a un modelo de elección individual. De esta forma, es posible derivar distintos modelos dependiendo de la forma funcional elegida para la utilidad representativa y para la función de distribución de los errores.

Uno de los modelos más utilizados, por su gran versatilidad y facilidad de calibración, es el logit simple presentado en la ecuación:

$$P_{iq} = \frac{e^{\lambda V_{iq}}}{\sum_{A_j \in \underline{A}(q)} e^{\lambda V_{jq}}} \quad (3)$$

Este modelo supone que los errores ε_{iq} distribuyen independiente e idénticamente Gumbel con media cero y varianza σ^2 , donde λ es un parámetro de dispersión inversamente relacionado con la desviación estándar σ de los errores estocásticos (Domencich y McFadden, 1975).

El problema de *estimación* de este modelo consiste en determinar los valores de los coeficientes θ_{ik} que repliquen más fielmente las elecciones observadas en una muestra de individuos. Como la variable observada (elección) es de distinta naturaleza que la modelada (probabilidad), la técnica estándar de estimación en este caso es la Máxima Verosimilitud (Ortúzar y Willumsen, 1994).

Por otro lado, el problema de *predicción* es que dado V_{iq} se desea predecir U_{iq} a fin de conocer la elección que haría el individuo en un escenario futuro. En este caso tampoco se conoce los errores, por lo que se debe calcular la probabilidad de escoger una cierta opción; en el caso de preferencias reveladas (PR) es razonable asumir que la distribución de los errores es idéntica en ambos casos. Sin embargo, en PD existe potencialmente un error distinto: que los individuos encuestados no necesariamente se comporten como declaran hacerlo en el experimento, por lo que en este caso podría no resultar adecuada la suposición anterior.

Por este motivo se recomienda que, cuando sea posible, se estime modelos combinando información de PR y PD de acuerdo a la técnica de modelación mixta de PR/PD (ver Bradley y Daly, 1997). Esto no se hizo en la experiencia reportada en este trabajo ya que en el plazo asignado para desarrollarlo no fue posible recolectar información de PR al nivel de precisión requerido (ver Daly y Ortúzar, 1990).

3. REQUERIMIENTOS DE INFORMACION

Cualquier proceso de evaluación de proyectos que involucre la construcción de una alternativa de transporte tan importante como un ferrocarril, requiere la realización de *estudios de base* centrados en la obtención de los siguientes datos de terreno:

- Medición de flujos de vehículos en la actualidad, incluyendo clasificación
- Medición de tasas de ocupación de los distintos tipos de vehículos
- Encuestas origen - destino de viajes (a usuarios de los actuales modos en competencia)
- Medición de variables de servicio para los modos actualmente en operación

En general, las mediciones de flujos (incluyendo clasificación y tasa de ocupación) se efectúan en forma simultánea a las encuestas origen - destino en la vía. Esto sirve para verificar el nivel de representatividad de la muestra y además permite obtener, por una parte, los niveles de flujo y su distribución por tipo de vehículo y, por otra, la información necesaria para determinar factores de expansión para las matrices de viaje.

Las encuestas origen - destino y la medición de variables de servicio de los distintos modos en competencia en el área en estudio, son elementos clave para la posterior modelación de la demanda. Ahora bien, en el caso de proyectos que involucren una alternativa nueva se requiere además de encuestas especiales que permitan calibrar los modelos señalados anteriormente, como se discute a continuación.

3.1. Encuestas de segmentación y de preferencias declaradas

El objetivo de estas encuestas es proveer la información necesaria para estimar una función de demanda por el nuevo servicio, dada una demanda total de viajes en el área de interés. En este estudio, se deseaba estimar un modelo desagregado de demanda de tipo logit que entregue la probabilidad de que un individuo elija la alternativa tren entre las disponibles para viajar entre Santiago y Valparaíso - Viña del Mar. El estudio se enfocó hacia dos mercados potenciales: automovilistas y viajeros en bus; para cada uno se diseñó un experimento de PD y su correspondiente encuesta de segmentación.

Para realizar estas encuestas se necesita la cooperación policial. En el caso de automóviles, el procedimiento consiste en detener a una muestra prefijada de vehículos (ver Ortúzar y Willumsen, 1994) y preguntar directamente al conductor la secuencia de preguntas contenidas en el formulario de segmentación (origen, destino, propósito del viaje, frecuencia, edad, sexo, nivel de ingreso, tipo de vehículo, número de acompañantes, quien paga por el viaje). Conforme al contenido de las respuestas de dicho encuestado, se decide si corresponde entregar una encuesta de preferencias declaradas y de lo contrario se termina el proceso.

La encuesta de PD, de auto - llenado, debe ser contestada posteriormente y devuelta por correo en un sobre franqueado entregado para tal efecto. Ya existe importante experiencia en la aplicación de este tipo de instrumentos de medición, que ha demostrado ser el de mayor eficiencia en términos de la calidad de la información obtenida (ver Ortúzar *et al*, 1994). Algo similar a lo anterior ocurre en el caso de pasajeros de transporte público con la diferencia que las preguntas no son las mismas, como es evidente, y no se requiere necesariamente el apoyo policial. En este caso puede que no sea posible entrevistar a los pasajeros en los buses o dentro de los terminales (objeción de los empresarios ya que la encuesta se refiere a una nueva alternativa que atenta contra su negocio) y no queda más que hacerlo fuera de los terminales o en las paradas autorizadas previas; sin embargo,

esto puede resultar difícil e inefficiente dado que, por un lado, se mezclan viajeros correspondientes a muchos pares origen - destino y, por otro, no todos los viajeros llegan hasta el terminal.

Para motivar la respuesta de los entrevistados se ofrece un premio a sortear entre las encuestas que se reciban contestadas en forma seria y completa. La tasa de respuesta ha oscilado entre un 15% y un 35%, valores considerados satisfactorios en relación a la experiencia reportada a nivel internacional. En este estudio en particular, la tasa de respuesta fue superior al 20%.

Como apoyo al diseño de la encuesta de PD, se contempló realizar dos experiencias previas:

a) Encuesta de tipo grupo focal, dirigida a viajeros frecuentes entre Santiago y Valparaíso - Viña del Mar, que habitualmente realizan sus viajes en automóvil. Los objetivos generales y específicos de esta encuesta fueron los siguientes:

- Conocer los motivos porque estos viajeros realizaban su viaje en auto y no en otro medio, e indagar cómo afectaría su elección el que existiera la opción de viajar entre Santiago y Valparaíso - Viña del Mar, en un tren rápido y de alto estándar.
- Identificar cuáles características de un viaje en auto o en tren eran más valoradas por los viajeros, y precisar la mejor forma de describir ciertos atributos que caracterizan el servicio de un tren a un viajero tipo.

b) Reconocimiento de los servicios de viajes en bus. Esta experiencia tuvo por objeto obtener un mayor conocimiento del servicio de viajes en bus entre Santiago y Valparaíso - Viña del Mar, específicamente en lo relacionado con las características de los buses, sus terminales y el viaje mismo que perciben los usuarios.

Ambas encuestas permitieron conocer estos dos mercados de mejor forma y por ende efectuar un diseño de las encuestas PD más ajustado a sus características. Los principales resultados se resumen como sigue:

- Los principales motivos de viaje entre Santiago y Valparaíso - Viña del Mar son trabajo durante la semana y paseo el fin de semana.
- Varios encuestados señalaron que preferirían vivir allá y viajar a Santiago; esto debido a condiciones de aire más puro y menor congestión vehicular.
- Para la mayoría de los encuestados la decisión de viajar, y por lo tanto el financiamiento, recaía en la empresa que los envía. Asimismo el viaje era realizado sin compañía adicional o sólo por alguien que a partir de su llegada a Valparaíso se dedicaba a sus propios asuntos.
- En cambio, los viajes durante el fin de semana eran cautivos del automóvil, puesto que las personas lo necesitan para su desplazamiento en el litoral.
- En general, la primera opción elegida era el automóvil particular, por su comodidad, flexibilidad o independencia, seguridad y la no existencia de tiempos de espera y acceso.
- Sin embargo, el bus es competitivo bajo ciertas condiciones: cuando el viajero debe financiar el viaje o la empresa no está dispuesta a financiar el viaje en auto; cuando la frecuencia de viaje es alta y el viajero desea disminuir la sensación de fatiga al manejar, o aprovechar de relajarse y descansar, o también utilizar el tiempo de viaje en otras actividades como la lectura.

- A pesar que el tiempo de viaje y el costo del pasaje en bus eran considerados razonables, la apreciación con respecto al servicio ofrecido fue regular. Esto no sólo en cuanto a la calidad de los servicios higiénicos (los que incluso a veces no existen), la limpieza de los asientos y la imposibilidad de escuchar música, sino también en cuanto a la falta de lugares de espera cómodos y escasez de centros de abastecimiento en los terminales.
- La imagen de un tren rápido dice relación con un servicio que demore menos de una hora en el trayecto entre Santiago y Valparaíso - Viña del Mar, con asientos cómodos, limpieza tanto en los carros como estaciones y servicios higiénicos. Por otro lado, preocupa la seguridad (la alta velocidad despierta imágenes de accidentes provocados por animales o personas cruzando la vía férrea), pero atrae la estabilidad o equilibrio para poder trabajar durante el trayecto, cumplimiento de horario y alta frecuencia, servicio diferenciado para ejecutivos, además de otras características asociadas a las estaciones y forma de cobro.

3.1.1 PD para usuarios de auto

La encuesta de PD consistió en presentar al entrevistado diversas situaciones de viaje en tren rápido y en automóvil, en cada una de las cuales debía elegir una de las dos alternativas. El contexto de elección era un viaje similar al que se encontraba efectuando al ser interceptado para entregarle la encuesta. En el caso del auto, los atributos seleccionados para caracterizar las alternativas de viaje y sus niveles de variación fueron los siguientes:

- Tiempo de viaje: se consideró fijo y con un valor igual al experimentado por el viajero cuando fue contactado (obviamente se solicitó explicitar dicho valor).
- Peaje + Consumo de combustible: se consideró dos niveles de variación para este atributo específico del auto, que se generaron dando un valor fijo al consumo de combustible y dos valores al peaje; no obstante, para mayor claridad, en la encuesta se presentó separadamente el costo del peaje y el del combustible.

En el caso del tren los atributos fueron los siguientes:

- Tiempo de viaje: se consideró tres niveles de variación.
- Tarifa: para este atributo específico del tren se consideró dos niveles de variación por persona y sentido de viaje.
- Frecuencia: también se consideró dos niveles de variación para este atributo.
- Comodidad: dos niveles de variación, clase estándar y clase ejecutiva, que se describían en el enunciado de la encuesta; se tuvo especial cuidado en no presentar la combinación tarifa alta - clase baja o viceversa, en alguna de las situaciones de elección, para lo cual en dos casos fue necesario *romper* el diseño ortogonal que se explica en la Tabla 1.

La combinación de los cinco atributos (el tiempo de viaje es genérico) y sus niveles de variación (ver Tabla 1), dio lugar a un diseño ortogonal (en el sentido que todos los atributos son independientes) fraccional factorial¹ con ocho situaciones de elección (ver Kocur *et al*, 1982). Para familiarizar a los entrevistados con la nueva alternativa de viaje, en la encuesta se describió las

¹ Permite estimar parámetros para cada variable (efectos principales) y no para combinaciones (interacciones).

principales características de operación y servicio del tren rápido en términos simples. Además se incluyó dos planos con la ubicación de las estaciones en Santiago, Valparaíso y Viña del Mar.

Tabla 1
Atributos y sus niveles de variación

Modo	Atributo	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Auto	Tiempo de Viaje	Fijo*		
	Peaje + Consumo de Combustible	\$ 3.300	\$ 4.500	
Tren	Tiempo de Viaje	50 min.	60 min.	70 min.
	Tarifa	\$ 2.000	\$ 3.000	
	Frecuencia (Intervalo)	10 min.	20 min.	

* Tiempo experimentado por el encuestado.

Ahora, para que un automovilista decida utilizar el tren, es importante considerar los tiempos de acceso/egreso a las estaciones desde sus lugares de origen/destino; por esto, el diseño consideró estos aspectos, previo a la presentación de las situaciones de elección, en forma consistente con la zonificación definida para el estudio. También se preguntó si podría haber viajado en bus y por qué no si la respuesta era negativa. La idea era detectar viajeros *cautivos* del auto (quienes por alguna razón justificada no pueden prescindir de él), ya que no debían ser considerados en la modelación, sino que reservados para ser asignados directamente a la red vial.

3.1.2 PD a usuarios de bus

El diseño de esta parte del estudio se realizó en forma análoga a la descrita para los viajeros de auto. A continuación se señala los atributos con que se caracterizó los viajes en bus y en tren, y sus niveles de variación:

- Tiempo de viaje: se consideró un tiempo de viaje fijo en bus para todo el experimento y tres niveles de variación para los tiempos de viaje en tren.
- Tarifa: para el bus se consideró una tarifa fija, igual a la pagada por el entrevistado en el viaje en que fue interceptado, y para el tren se consideró tres niveles de variación.
- Frecuencia: para el bus se utilizó una frecuencia fija (igual al promedio de la combinación de frecuencias ofrecidas por las principales líneas) y para el tren dos niveles de variación.
- Comodidad: en el caso del bus se especificó como la correspondiente al servicio en que el entrevistado había realizado su viaje y para el tren se consideró clases estándar y ejecutiva, que fueron descritas en el enunciado de la encuesta; nuevamente se tuvo cuidado de no presentar combinaciones tarifa alta - clase baja o viceversa, para lo cual en tres casos fue necesario romper el diseño ortogonal.

La combinación de estos cuatro atributos genéricos y sus niveles de variación, dio lugar a un diseño fraccional factorial con nueve situaciones de elección (ver Kocur *et al*, 1982) que se presentan en la Tabla 2. Cabe señalar, finalmente, que en este caso se decidió no considerar el problema de acceso/egreso a estaciones de tren, ya que en promedio no debieran diferir mucho respecto a si el viaje se realiza en bus.

Tabla 2
Atributos y sus niveles de variación

Modo	Atributo	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Bus	Tiempo de Viaje	120 min.		
	Tarifa	Fija*		
	Frecuencia (Intervalo)	10 min.		
	Comodidad	Fija**		
Tren	Tiempo de Viaje	50 min.	60 min.	70 min.
	Tarifa	\$ 2.000	\$ 3.000	
	Frecuencia (Intervalo)	10 min.	20 min.	
	Comodidad (Clases)	Estándar	Ejecutiva	

* Tarifa pagada por el encuestado.

** Comodidad del bus en que viajó el encuestado.

3.2. Análisis de la información obtenida en terreno

Como resultado del trabajo efectuado en terreno, se repartió un total de 2.864 encuestas PD a viajeros en auto y 2.750 encuestas PD a viajeros en bus. De estos totales, se recibió de vuelta por correo un total de 583 encuestas contestadas, correspondientes a viajeros de auto y 665 encuestas correspondientes a viajeros de bus. Lo anterior da tasas de respuesta de 20,4% en el caso de los viajeros de auto y de 24,2% para los viajeros de bus, que se consideran satisfactorias dada la experiencia tanto en el país como en el extranjero para este tipo de encuesta.

La información obtenida fue sometida a un exhaustivo proceso de validación. Este permitió detectar varios casos en que el experimento PD fue mal contestado (sólo se respondía a uno de los casos presentados); se desecharon 63 encuestas correspondientes a viajeros en bus y 39 en auto con este problema. También se eliminó algunas encuestas sin respuesta respecto a información relevante para la modelación; finalmente, en el caso de usuarios de auto se descartó 18 encuestas debido a que el par origen - destino de viaje no estaba en el área de influencia del estudio. La validación de la encuesta PD a viajeros de auto incluyó, además de los aspectos anteriores, un detallado análisis de los tiempos de viaje solicitados a cada entrevistado; vale decir: tiempo total del viaje en que fue interceptado, tiempo de viaje en el modo seleccionado, entre el origen y la estación en que abordaría el tren, y por último tiempo de viaje entre la estación en que se bajaría del tren y su destino final, en el modo seleccionado.

El análisis consistió en detectar valores poco factibles (muy altos o muy bajos), distinguiendo por medio de transporte (y en el caso del tiempo de acceso/egreso examinando si se trataba de un viaje en Santiago o en las ciudades involucradas de la V región) y contrastarlos con los datos escritos en el formulario, para descartar errores de digitación. Tras este proceso, cada caso analizado fue corregido, rechazado o aceptado. Para completar la información respecto a acceso/egreso a estaciones del tren rápido para viajeros de auto, se asignó costos de acceso y egreso acordes a la ciudad donde el viaje se había efectuado y al medio de transporte que el entrevistado había declarado utilizar en cada caso.

También se revisó la respuesta a la consulta de si se habría podido realizar el viaje en bus. Se analizó la razón de las respuestas negativas para determinar si efectivamente la persona requería el auto para su viaje, en cuyo caso la encuesta se desecharía para efectos de la modelación, o si en realidad podría haber viajado en bus y decía que no por considerarlo incómodo, inseguro, etc. Este análisis condujo a sacar 85 encuestas de la etapa de modelación, las que una vez expandidas fueron asignadas directamente a la red vial en la etapa final del estudio.

Terminado el proceso de validación, ambos experimentos de PD fueron sometidos a un análisis de consistencia. Se entiende por inconsistencia una ó más respuestas que no sean consecuentes con la hipótesis del consumidor racional implícita en la teoría subyacente a los modelos de elección a estimar. Para detectarlas se debe determinar un conjunto de reglas de elección que cumplan con esta hipótesis, pero algunas dependen exclusivamente de las preferencias de los entrevistados. Luego, en base a estas reglas se revisa las respuestas mediante un programa computacional a fin de detectar las posibles inconsistencias. Se debe examinar cada caso a fin de determinar cuál es la (o las) respuesta(s) que provoca(n) la inconsistencia. Al detectar respuestas erróneas, éstas se eliminan si son dos o menos, pero si son más de dos se elimina la encuesta completa bajo la hipótesis que el individuo no entendió o no contestó seriamente al experimento.

3.2.1 Muestra para viajeros de vehículos livianos

Una vez efectuadas todas las validaciones al conjunto de datos de PD, se obtuvo un conjunto de 265 encuestas para la etapa de modelación. Sin embargo, aún cuando se estimó modelos con esta muestra, finalmente se decidió utilizar una sub-muestra que contenía sólo individuos cuyo origen y destino se encontraba en el grupo de zonas consideradas como de mayor accesibilidad al tren rápido para un usuario de auto.

La Tabla 3 presenta una caracterización de la muestra recién mencionada y su comparación con la muestra constituida por todos los individuos interceptados en la encuesta de segmentación que viajaban entre los pares origen - destino de interés. Si bien se observa diferencias (por ejemplo, en los motivos por trabajo y turismo, en las personas que costean su viaje o se los costea el empleador, en algunos grupos de edad, en el sexo y en tres rangos de ingreso), éstas no son dramáticas y probablemente se deben al proceso de depuración de los datos. Vale decir, no hay sesgo aparente en la respuesta, pero si pareciera que ciertos grupos contestaron la encuesta con mayor cuidado. En todo caso, cabe destacar que incluso si la muestra hubiera tenido características socioeconómicas diferentes, podría tratarse como estratificada ya que no contiene sesgos en términos de la elección, que es lo que interesa modelar (Ortúzar *et al.*, 1994).

3.2.2 Muestra para viajeros de bus

Efectuadas todas las validaciones correspondientes al conjunto de datos PD, se obtuvo un total de 597 encuestas para la etapa de modelación. En la Tabla 4 se caracteriza esta muestra y se le compara con aquella constituida por todos los individuos interceptados en la encuesta de segmentación. Como se ve, no se observa diferencias importantes entre ambas muestras.

Tabla 3
Características de las muestras de usuarios de auto

		Características de los Entrevistados en Auto	Encuestas Entregadas		Encuestas Modelación	
			Nº	%	Nº	%
Motivo del Viaje	Al o del Trabajo	187	14,1	21	16,4	
	Por Trabajo	441	33,2	33	25,8	
	Trámite o Diligencia Personal	149	11,2	14	10,9	
	Estudios	17	1,3	3	2,3	
	Visitas	140	10,5	12	9,4	
	Salud	15	1,1	3	2,3	
	Compras	17	1,3	0	0,0	
	Turismo	354	26,7	42	32,8	
	Flete	8	0,6	0	0,0	
Frecuencia	Menos de una vez a la semana	712	53,6	70	54,7	
	1 vez a la semana	345	26,0	35	27,3	
	2 veces a la semana	115	8,7	9	7,0	
	3 veces a la semana	88	6,6	9	7,0	
	4 veces a la semana	23	1,7	1	0,8	
	5 veces a la semana	26	2,0	3	2,3	
	Más de 5 veces a la semana	10	0,8	0	0,0	
	No contesta	9	0,7	1	0,8	
Costeo del Viaje	Usted	864	65,1	98	76,6	
	Alguien del Grupo de Viaje	69	5,2	6	4,7	
	Su Empleador o Empresa	359	27,0	20	15,6	
	Otro	33	2,5	4	3,1	
	No contesta	3	0,2	0	0,0	
Rango de Edad	Menos de 30 Años	228	17,2	15	11,7	
	Entre 30 y 50 años	857	64,5	89	69,5	
	Más de 50 años	242	18,2	24	18,8	
	No se determinó	1	0,1	0	0,0	
Género	Femenino	159	12,0	20	15,6	
	Masculino	1169	88,0	108	84,4	
Ingreso Mensual	Menos de \$80.000	62	4,7	5	3,9	
	Entre \$80.000 y 150.000	134	10,1	4	3,1	
	Entre \$151.000 y 300.000	190	14,3	12	9,4	
	Entre \$301.000 y 500.000	166	12,5	14	10,9	
	Entre \$501.000 y 800.000	219	16,5	30	23,4	
	Entre \$801.000 y 1.200.000	201	15,1	27	21,1	
	Entre \$1.201.000 y 1.600.000	124	9,3	15	11,7	
	Más de \$1.600.000	133	10,0	15	11,7	
	No contesta	99	7,5	6	4,7	
Total de Encuestas			1.328	100,0	128	100,0

4. RESULTADOS DE LA MODELACION

4.1. Auto vs tren rápido

Los atributos considerados en este caso fueron los siguientes:

- Tiempo de viaje (min.): en el caso del auto este es el tiempo entre el punto de origen del viaje y el punto de destino, y en el caso del tren es el tiempo entre las estaciones de origen y destino.
- Peaje + Costo Bencina (\$): suma del valor del peaje y el gasto en bencina, para el viaje en auto entre el punto de origen y de destino.
- Costo acceso y egreso tren (\$): suma del costo de viajar a la estación del tren rápido desde el punto de origen del viaje y el costo de movilizarse desde la estación de destino hasta el lugar de destino final del viaje, en el o los modos seleccionados por cada persona.
- Tarifa Tren + Costo Estacionamiento (\$): suma de la tarifa por persona y sentido de viaje del tren, más la tarifa de estacionamiento para personas que acceden en auto a este medio.
- Frecuencia (min.): intervalo de tiempo entre salidas sucesivas del tren.
- Siempre Tren: variable muda que toma el valor uno si el entrevistado eligió la alternativa tren rápido en todas las situaciones de elección presentadas y cero en otro caso; se utilizó para tratar de capturar el efecto de eventuales sesgos de política en las respuestas. Por supuesto que esta variable no debe considerarse al usar el modelo en modalidad predictiva.

Luego de probar gran variedad de especificaciones, se concluyó que el mejor modelo, estimado con el paquete computacional ALOGIT (Daly, 1992), era el que se muestra en la Tabla 5. Este presenta un buen nivel de ajuste general (ρ^2) y coeficientes significativamente distintos de cero en casi todos los casos (la constante específica por supuesto no es problema) aunque el t-estadístico reportado no considera el problema de observaciones repetidas (ver Ortúzar *et al*, 1997). Además, los valores subjetivos del tiempo (Gaudry *et al*, 1989) no sólo son mayores para quienes eligen auto, de acuerdo a lo esperado, sino que tienen una magnitud similar a la reportada en estudios recientes (ver por ejemplo, Ortúzar, 1994).

4.2. Bus vs tren rápido

Los atributos considerados en este caso fueron los siguientes:

- Tiempo de viaje (min.): tiempo de viaje en el modo considerado en un sentido de viaje.
- Tarifa (\$): tarifa por persona y sentido de viaje en el modo considerado.
- Frecuencia (min.): intervalo de tiempo entre salidas sucesivas del modo considerado.

Igual que en el caso de los autos se probó diversas especificaciones para distintas estratificaciones de los datos. El mejor resultado se obtuvo al clasificar los viajeros según su acceso a automóvil.

Tabla 4
Características de las muestras de usuarios de bus

		Características de los Entrevistados en Bus	Encuestas Entregadas		Encuestas Modelación	
			Nº	%	Nº	%
Motivo del Viaje	Al o del Trabajo	504	18,3	127	21,3	
	Por Trabajo	399	14,5	81	13,6	
	Trámite o Diligencia Personal	194	7,1	50	8,4	
	Estudios	223	8,1	69	11,5	
	Visitas	816	29,7	164	27,5	
	Salud	43	1,6	12	2,0	
	Compras	112	4,1	20	3,3	
	Turismo	456	16,6	74	12,4	
	Flete	3	0,1	0	0,0	
	No contesta					
Frecuencia	Menos de una vez a la semana	1424	51,8	279	46,7	
	1 vez a la semana	796	28,9	196	32,8	
	2 veces a la semana	178	6,5	39	6,5	
	3 veces a la semana	111	4,0	29	4,9	
	4 veces a la semana	37	1,4	11	1,8	
	5 veces a la semana	160	5,8	43	7,2	
	Más de 5 veces a la semana	42	1,5	0	0,0	
	No contesta	2	0,1	0	0,0	
Costeo del Viaje	Usted	2282	82,9	476	79,3	
	Alguien del grupo de viaje	49	1,8	7	1,2	
	Su empleador o empresa	246	8,9	62	10,4	
	Otro	173	6,3	52	8,7	
	No contesta	0	0,0	0	0,0	
Rango de Edad	Menos de 30 Años	1266	46,0	277	46,4	
	Entre 30 y 50 años	1060	38,6	224	37,5	
	Mas de 50 años	407	14,8	96	16,1	
	No se determinó	17	0,6	0	0,0	
Género	Femenino	1152	41,9	260	43,6	
	Masculino	1585	57,6	335	56,1	
	Mal codificada	13	0,5	2	0,3	
Ingreso Mensual	Menos de \$80.000	668	24,3	151	25,3	
	Entre \$80.000 y 150.000	636	23,1	105	17,6	
	Entre \$151.000 y 300.000	652	23,7	136	22,8	
	Entre \$301.000 y 500.000	339	12,3	92	15,4	
	Entre \$501.000 y 800.000	154	5,6	39	6,5	
	Entre \$801.000 y 1.200.000	63	2,3	24	4,0	
	Entre \$1.201.000 y 1.600.000	14	0,5	8	1,3	
	Más de \$1.600.000	12	0,4	3	0,5	
	No contesta	212	7,7	39	6,5	
	Total de Encuestas	2.750	100,0	597	100,0	

Tabla 5
Modelo de elección entre Auto y Tren

Atributos	Parámetros (test-t)
Tiempo de Viaje (min.)	-0,01133 (-2,7)
Peaje+Costo Bencina (\$)	-0,0004007 (-2,7)
Costo Acceso y Egreso Tren (\$)	-0,0001822 (-3,3)
Tarifa Tren + Costo Estacionamiento (\$)	-0,0004469 (-2,7)
Frecuencia (min.)	-0,001907 (-0,1)*
Siempre Tren	5,979 (5,9)
Constante Tren	-0,3481 (-0,5)*
ρ^2	0,3517
Tamaño muestral	128
VST de los que eligen auto (\$/min.)	28,3
VST de los que eligen tren (\$/min.)	25,4

* No significativo al 95% de confianza

En la Tabla 6 se presentan los mejores modelos estimados para cada estrato; se puede ver que si bien el ajuste general es algo peor que en el caso anterior, ahora todos los coeficientes son más significativos. Además, y consecuentemente con la intuición, los viajeros con acceso a auto tienen un valor subjetivo del tiempo mayor al de aquéllos sin acceso a auto, y ambos valores son menores a los encontrados para viajeros en auto, lo que concuerda con lo esperado. Finalmente, si se compara las predicciones de ambos modelos para las características de un viaje tipo, siempre es mayor la probabilidad de que un usuario con acceso a auto utilice el tren.

Tabla 6
Modelos de elección entre Bus y Tren

Atributos	Viajeros con acceso a auto	Viajeros sin acceso a auto
	Parámetro (test-t)	Parámetro (test-t)
Tiempo de Viaje (min.)	-0,02930 (-3,9)	-0,01691 (-3,0)
Tarifa (\$)	-0,002356 (-15,8)	-0,002106 (-20,0)
Frecuencia (min.)	-0,03292 (-2,9)	-0,02933 (-3,5)
Constante tren	1,811 (4,5)	1,971 (6,4)
ρ^2	0,1504	0,1346
Tamaño muestral	221	376
VST (\$/min.)	12,44	8,03

5. USO DE LOS MODELOS EN MODALIDAD PREDICTIVA

Se definió un esquema simplificado que permitió resolver en forma independiente las etapas del modelo clásico de transporte. Así, la *generación de viajes* consistió simplemente en proyectar los viajes totales observados en el área de estudio a futuro, en base a escenarios consistentes de planificación. La *distribución de viajes* consistió en mantener constante la estructura de la matriz origen-destino observada en los distintos cortes temporales. La *partición modal* se analizó en forma

detallada en base a los modelos estimados con información de preferencias declaradas (Tablas 5 y 6), y la *asignación* se trató simplemente como un algoritmo *todo o nada* a rutas de costo mínimo. Como esto no es infrecuente o indeseable en el caso de rutas no congestionadas, esta hipótesis sólo representaba problemas en la componente urbana de los viajes examinados.

En base a la ubicación de las estaciones terminales e intermedias del nuevo servicio en Santiago, Viña del Mar y Valparaíso, y a la especificación de las características de nivel de servicio ofrecidas, se definió un universo potencial de usuarios de la siguiente forma:

- Buses: se supuso que la totalidad de los viajeros actuales entre las tres ciudades eran usuarios potenciales del ferrocarril; además se supuso que sus tiempos de acceso eran similares, por lo cual la modelación se restringió al viaje entre terminales.
- Automóviles: para determinar el universo potencial de actuales usuarios de auto que se podría cambiar al tren, se adoptó como criterio un tiempo máximo de acceso a una estación de metro (o del nuevo tren), valor que variaba de acuerdo a la zonificación definida para el estudio. En particular, se supuso que los potenciales usuarios de Santiago, con metro a menos de cinco cuadras de su origen, siempre utilizarían este medio para llegar al tren; por otro lado quienes vivieran en el corredor oriente (Providencia, Las Condes, Vitacura y Lo Barnechea) llegarían en auto a la estación del tren y quienes procedieran de otras zonas podrían elegir entre bus y metrobus. Para el caso de usuarios de Viña y Valparaíso, también se definió zonas en que se accedería a la estación por auto, bus o taxi colectivo. No obstante, si al destino no se podía llegar en metro o caminando, se supuso que el par de zonas examinado no contenía usuarios potenciales del nuevo ferrocarril. Finalmente, es necesario recordar que se detectó un número importante de usuarios cautivos del automóvil, que por supuesto no fue sometido al proceso de modelación.

Dado que la red vial relevante iba a sufrir cambios topológicos, de capacidad y nivel de servicio importantes en el horizonte del estudio, se definió dos cortes temporales para representar el mediano (antes del año 2000) y largo plazo en términos de provisión de nueva infraestructura. Para obtener variables de servicio adecuadas, se tomó los resultados del modelo ESTRAUS (SK/CIS, 1989) para el caso urbano, homologando escenarios para cada corte temporal. En el caso interurbano se asumió, conservadoramente, que las variables de servicio mantendrían niveles similares a los observados en la actualidad.

6. CONCLUSIONES

Se ha presentado una metodología simplificada, pero basada en modelos cercanos al estado del arte, para estimar la demanda por una nueva alternativa ferroviaria. Se ha discutido los temas relacionados con el diseño y recolección de información sobre preferencias declaradas, que es prácticamente un requisito en casos como el estudiado. Finalmente, se han presentado los modelos estimados con estos datos y se ha delineado la forma de usarlos en modalidad predictiva.

Es importante destacar que todo el trabajo desarrollado en este estudio tuvo un plazo bastante breve (menos de tres meses), por lo que indudablemente el estudio es susceptible de ser mejorado. En

particular nos habría parecido altamente deseable poder estimar modelos mixtos de PR y PD, aprovechando información sobre los viajes actuales en bus y auto entre Santiago y Valparaíso. También habría sido deseable obtener información focal previa al diseño, para los viajeros cuyo origen es la V Región. Finalmente, y dado el actual estado del arte, sería interesante investigar el efecto de relajar la hipótesis de independencia entre las observaciones de PD para un mismo individuo, que subyace a los modelos estimados.

REFERENCIAS

- Bradley, M.A. y Daly, A.J. (1997) Estimation of logit choice models using mixed stated-preference and revealed-preference information. En P. Stopher y M. Lee-Gosselin (eds.), **Understanding Travel Behavior in an Era of Change**. Elsevier Science, Oxford.
- Daly, A.J. (1992) **ALOGIT 3.2 User's Guide**. Hague Consulting Group, La Haya.
- Daly, A.J. y Ortúzar, J. de D. (1990) Forecasting and data aggregation: theory and practice. **Traffic Engineering and Control** 31(12), 632-643.
- Domencich, T. y McFadden, D. (1975) **Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis**. North-Holland, Amsterdam.
- Gaudry, M.J.I., Jara-Díaz, S.R. y Ortúzar, J. de D. (1989) Value of time sensitivity to model specification. **Transportation Research** 23B(2), 151-158.
- Kocur, G.T., Adler, T., Hyman, W. y Aunet, B. (1982) Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment. Report Nº UMTA-NH-11-0001-82, Urban Mass Administration, US Department of Transportation, Washington, D.C.
- Ortúzar, J. de D. (1994) *Valor del Tiempo para Evaluación de Proyectos*. Informe Ejecutivo al Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Departamento Ingeniería de Transporte, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.
- Ortúzar, J. de D., Iacobelli, A., Ivelic, A.M. y Munizaga, M. (1994) Evaluating private highway projects under concession: route choice modelling with mixed RP/SP data. **Proceedings 22nd European Transport Forum**, University of Warwick, Inglaterra, 12-16 Septiembre 1994.
- Ortúzar, J. de D., Roncagliolo, D.A. y Velarde, U.C. (1997) Interactions and independence in stated preference modelling. **Proceedings 25th European Transport Forum**, Brunel University, Inglaterra, 1-5 Septiembre 1997.
- Ortúzar, J. de D. y Willumsen, L.G. (1994) **Modelling Transport**. 2^a Edición, John Wiley & Sons, Chichester.