

D. JAVIER CAMPOS MÉNDEZ SECRETARIO DEL DEPARTAMENTO DE ANÁLISIS ECONÓMICO APLICADO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

CERTIFICA,

Que el Consejo de Doctores del Departamento en su sesión de fecha 19 de junio de 2006 tomó el acuerdo de dar el consentimiento para su tramitación, a la tesis doctoral titulada “Análisis de la demanda de transporte interinsular mediante modelos avanzados de elección discreta.” presentada por el doctorando D José María Grisolia Santos y dirigida por los doctores Juan de Dios Ortúzar Salas y José Antonio Hernández Sánchez.

Y para que así conste, y a efectos de lo previsto en el Artº 73.2 del Reglamento de Estudios de Doctorado de esta Universidad, firmo la presente en Las Palmas de Gran Canaria, a 21 de junio de 2006.



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
Departamento de Análisis Económico Aplicado

Análisis de la demanda de transporte interinsular mediante modelos avanzados de elección discreta

TESIS DOCTORAL

José María Grisolia Santos



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
Departamento de Análisis Económico Aplicado

DOCTORADO EN ECONOMÍA
PROGRAMA DE DOCTORADO EN ANÁLISIS ECONÓMICO

**ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE INTERINSULAR MEDIANTE MODELOS
AVANZADOS DE ELECCIÓN DISCRETA**

Tesis Doctoral presentada por D. José María Grisolia Santos.

Dirigida por el Dr. D. Juan de Dios Ortíz Salas
y el Dr. D. José Antonio Hernández Sánchez.

Los Directores

El Doctorando

Las Palmas de Gran Canaria, Mayo de 2006

*A mi madre y hermanos:
Alfredo, Pili, Juancarlos, Maricarmen, Diana y Lu*

A mi padre que le hubiese encantado ver esto

A Irene

Agradecimientos

Gracias a Dios, a las uvas, al viento, gracias a ti y a mí, y a todos los que me escucharon y animaron. Gracias a Los Beatles y a las betas; a los ordenadores y al desorden; al sol de enero en Chile y al metro de Santiago. Gracias a las avenidas de suelo de terraza, con dos hileras de árboles; gracias a la lluvia que me confinó en mi casa mientras el agua y los modelos corrian; gracias al zumo de naranja y el café, a todas las cosas buenas que me nutrieron silenciosamente; gracias a los precios de Santiago, a mi departamento con vistas al Manhattan chileno; gracias a esas calles rectilíneas de final desconocido, a esa geometría única, a esas maneras antiguas, ese “buenos días” olvidado en la madre patria. Ah, gracias, al fin, a mis amigos y familia, equipo habitual de asesores a distancia, protegiéndome a todas horas; dándome apoyo cuando no era más que el naufragio del vaso de agua. Gracias pues, a todos; la vida puede ser la pesadilla que se muerde la cola, pero una tesis, todos lo sabemos, digámoslo en secreto, es un trabajo colosal.

Gracias, ahora sí, con nombre y apellidos, a Juan de Dios Ortúzar, investigador genial, hombre industrioso, amigo siempre, paciente y paternal. Jamás hubiese acabado sin su ayuda –esta vez no es hipérbole. Gracias a José Antonio Hernández, mago de los subíndices, monarca de la nomenclatura, que registró, infinitésimas ies, y diminutas enes para, filtrarlas con maestría, orden y pulcritud. Gracias a Irene, góndola triste y azul, atrapada entre tres culturas y cinco mares de siete llaves. Gracias a toda mi familia, en especial mi hermana Diana, a Luis, a Paco López, el prozac de la economía aplicada, el Leonardo Da Vinci del formato; gracias a esos costarricenses tan amables e inteligentes, en especial al ingeniero que podría ser doctor al cuadrado, Juan Carlos Pereira, inventor de palabras y creador del código C que utilizo en esta tesis; gracias a Germán Valverde por explicarme concienzudamente el problema de los tiempos de espera. Gracias también a los profesores de la Universidad de Leeds con los que inicié esta tesis como tesina de máster en 2002, en especial a mi supervisor Mark Wardman. No quisiera olvidar aquí a Mauricio Sillano, siempre dispuesto a la resolver mis dudas sobre el logit mixto, desgranando sus perlas de sabiduría entre emails y pintas de cerveza en algún pub londinense. Por último (no creo necesario añadir pero no menos importante) a los profesores e investigadores del Departamento de Ingeniería de Transporte de la Pontificia Universidad Católica de Chile, en particular Luis Rizzi y Paula Armstrong, por su amabilidad y permanente disposición a ayudarme en mis consultas.

Gracias, pues a todos, y a los que me olvido también. Gracias que descubro bajo una enredadera y os entrego como dádiva azul desde la soledad de mi naufragio en un vaso de agua.

Instituciones que han colaborado proporcionando información de forma desinteresada:

AENA

Ayuntamiento de Las Palmas

Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife

Binter Canarias

Cabildo de Gran Canaria

Cabildo de Tenerife

Fred Olsen S.A

Gobierno de Canarias

Ministerio de Fomento

Naviera Armas

Trasmediterránea

Esta tesis fue financiada por la Subdirección General de Investigación del Gobierno de Canarias (proyecto PI2000/062 del año 2000)

Índice de contenidos

1	INTRODUCCIÓN	17
1.1	Motivaciones y objetivos.....	17
1.2	Descripción del mercado	19
1.2.1	<i>El contexto: las Islas Canarias</i>	19
1.2.2	<i>Descripción de los modos de transporte interinsulares</i>	21
1.2.3	<i>El mercado de transporte de pasajeros entre Gran Canaria y Tenerife</i>	21
1.3	Estructura del trabajo.....	23
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	25
2.1	Los modelos de elección discreta	25
2.1.1	<i>El desarrollo de la disciplina</i>	25
2.1.2	<i>La teoría de la utilidad aleatoria: supuestos del modelo</i>	36
2.1.3	<i>Logit multinomial (MNL)</i>	39
2.1.4	<i>Modelos GEV (Generalized Extreme Values)</i>	42
2.1.5	<i>Probit</i>	45
2.1.6	<i>Logit mixto</i>	46
2.1.7	<i>Estimación</i>	50
2.1.8	<i>Inferencia estadística de los modelos de elección discreta</i>	55
2.1.9	<i>Conclusiones sobre los modelos de elección discreta</i>	57
2.2	El valor del tiempo	57
2.2.1	<i>Revisión de los modelos de asignación temporal</i>	58
2.2.2	<i>Conclusiones sobre el valor del tiempo</i>	68
2.3	Conclusiones sobre los fundamentos teóricos	68
3	ANÁLISIS DE DATOS Y ESTUDIO DE LAS PERCEPCIONES	71
3.1	La encuesta	71
3.2	Descripción de las variables y otros datos sobre la encuesta.....	72
3.2.1	<i>Datos sobre la encuesta y su depuración</i>	72
3.2.2	<i>Tratamiento de los viajes en grupo</i>	73
3.2.3	<i>Las variables del modelo</i>	74
3.3	Análisis de las percepciones y su relación con los datos reales.....	89
3.3.1	<i>Aplicaciones de la ley de Stevens</i>	92
3.3.2	<i>Estudio del error en la percepción</i>	98
3.4	Análisis del tiempo de espera	99
3.4.1	<i>Formas de recopilar la información sobre el tiempo de espera</i>	99
3.4.2	<i>Espera cronometrada en el avión y el jetfoil</i>	101
3.4.3	<i>Espera basada en las declaraciones de los viajeros</i>	105
3.5	Conclusiones sobre el análisis de datos	108
4	MODELACIÓN	111

4.1	Modelos MNL	111
4.1.1	<i>Modelos MNL sin variables SE</i>	111
4.1.2	<i>Modelos MNL con variables socioeconómicas</i>	116
4.2	Modelos Logit jerárquico (HL)	119
4.3	Modelos Logit mixto (ML).....	121
4.3.1	<i>ML con datos basados en percepciones</i>	122
4.3.2	<i>ML con datos de tiempo de viaje medidos</i>	124
4.4	Conclusiones de la modelación	125
5	RESULTADOS DE LA MODELACIÓN-----	129
5.1	Intervalos de confianza del valor subjetivo del tiempo	129
5.2	Intervalos de confianza para el VST sin variables SE	130
5.3	Relación entre los atributos del tiempo, frecuencia y costo	133
5.4	Intervalos de confianza para el VST con variables SE.....	135
5.4.1	<i>Estimaciones puntuales del VST con variables socioeconómicas</i>	135
5.4.2	<i>Estimaciones de ITCVST con variables SE</i>	138
5.5	Conclusiones sobre el VST.....	144
5.8	Validación, predicción y análisis de sensibilidad.....	150
5.8.1	<i>Supuestos en torno al número de pasajeros sin coche</i>	151
5.8.2	<i>Predicción del nuevo modo</i>	151
5.8.3	<i>La constante modal como variable de optimización</i>	154
5.8.4	<i>Análisis de sensibilidad</i>	154
5.9	Conclusiones sobre la validación y análisis de sensibilidad.....	159
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES-----	161
7	ANEXOS-----	165
7.1	Encuesta en el jetfoil	165
7.2	Estudio del tiempo de espera en las paradas de autobús	172
7.3	Otras estimaciones del VST	174

Lista de tablas

Tabla 2.1: Planteamiento del problema.....	36
Tabla 2.2: Tipos de modelos de elección discreta	39
Tabla 3.1: Velocidades asignadas a las caminatas (Km/h).....	75
Tabla 3.2: Resumen de las principales variables en los modelos	78
Tabla 3.3: Orígenes y destinos: todos los datos	81
Tabla 3.4: Orígenes y destinos de viajes en avión superiores al 1%.....	82
Tabla 3.5: Orígenes y destinos de viajes en jetfoil superiores al 1%.....	82
Tabla 3.6: Orígenes y destinos de viajes en ferry rápido superiores al 1%.....	83
Tabla 3.7: Orígenes y destinos de viajes en ferry lento superiores al 1%.....	83
Tabla 3.8: Matriz Origen-Destino resumida	84
Tabla 3.9: Distribución de motivos dentro de cada modo	87
Tabla 3.10: Distribución de viajes en función del motivo	87
Tabla 3.11: Resúmenes de resultados aplicando la Ley de Stevens.....	90
Tabla 3.12: Criterios de elección	91
Tabla 3.13: Percepción del tiempo de viaje	92
Tabla 3.14: Distribución de percepciones del tiempo de viaje	92
Tabla 3.15: Ley de Stevens para el tiempo de viaje.....	93
Tabla 3.16: Ley de Stevens con variables SE para el tiempo de viaje.....	94
Tabla 3.17: Ley de Stevens para viajes en coche.....	96
Tabla 3.18: Ley de Stevens (acceso y egreso)	96
Tabla 3.19: Ley de Stevens a todo el viaje	97
Tabla 3.20: Ley de Stevens con variables SE para el acceso y egreso	97
Tabla 3.21: Error absoluto relativo para el acceso.....	98
Tabla 3.22: Distintas medias del cálculo de los tiempos de espera.....	101
Tabla 3.23: Resumen de resultados de la espera para el jetfoil	102
Tabla 3.24: Resumen de resultados de la espera para el avión	103
Tabla 3.25: Espera para el avión y el jetfoil conjuntamente	104
Tabla 3.26: Resultados de la modelación del tiempo de espera.....	105
Tabla 3.27: Percepción del tiempo de espera.....	106
Tabla 3.28: Percepción del tiempo de espera normalizadas	106
Tabla 3.29: Tiempo de espera para todos los modos conjuntamente.....	107
Tabla 3.30: Modelación de esperas experimentadas por los usuarios*.....	107
Tabla 4.1: Modelos MNL: datos percibidos	115
Tabla 4.2: Test de la razón de verosimilitud.....	115
Tabla 4.3: MNL con datos medidos.....	116
Tabla 4.4: MNL con variables SE (datos percibidos).....	118
Tabla 4.5: Efecto de las variables SE: coeficiente y t-ratio	119
Tabla 4.6: Modelos HL	120
Tabla 4.7: Modelos ML basados en datos percibidos	123
Tabla 4.8: Comparación entre el MNL y el ML	124
Tabla 4.9: Comparación de modelos MNL y ML.....	124
Tabla 4.10: Modelos ML basados en datos medidos	125
Tabla 5.1: Modelos seleccionados	129

Tabla 5.2: Estimaciones puntuales e intervalos de confianza (€ por hora).....	131
Tabla 5.3: Rango de los intervalos.....	132
Tabla 5.4: Estudio de la frecuencia.....	134
Tabla 5.5: VST IVT viajes al trabajo. Estimaciones puntuales	136
Tabla 5.6: ICVST para MNL con variables SE	139
Tabla 5.7: ICVST en modelos ML.....	142
Tabla 5.8: Rango de los intervalos en el ML*	142
Tabla 5.9: Comparación transversal de todos los resultados de VST	143
Tabla 5.10: Comparación del VST para una misma especificación	143
Tabla 5.11: Comparación de los resultados del VST: índices	144
Tabla 5.12: Relación de estudios sobre el VST y su relación con el salario-hora	145
Tabla 5.13: VST estimados en Europa (precios de 1998).....	146
Tabla 5.14: Relación de los parámetros entre sí (índice).....	148
Tabla 5.15: VST avión viajes al trabajo. Estimaciones puntuales	150
Tabla 5.16: Clasificación de modelos por la calidad de su predicción	153
Tabla 5.17: Ordenamiento en función de la mínima varianza	154
Tabla 5.18: Relación de C* con las constantes modales.....	154
Tabla 5.19: Análisis de elasticidades: Modelo MNL-1 (datos medidos).....	155
Tabla 5.20: Tabla de elasticidades: modelo MNL-S.....	156
Tabla 5.21: Modelo de tabla de predicciones. Primero para el MNL-1 M.....	157
Tabla 5.22: Modelo de tabla de predicciones. MNL-S	157
Tabla 7.1: VST para viajes de ocio	174

Índice de figuras

Figura 1.1: Islas Canarias.....	19
Figura 1.2: Mapa de modos y rutas.....	20
Figura 2.1 Actual modelo de elección	29
Figura 2.2: Modelos híbridos	32
Figura 2.3 Evolución de los modelos de elección discreta	34
Figura 2.4 Ejemplo de árbol con un nido de transporte público	43
Figura 2.5: Algoritmo Newton-Raphson	52
Figura 3.1 Mapa de orígenes y destinos por municipios.....	79
Figura 3.2: Dferentes formas de determinar el tiempo de espera.....	100
Figura 3.3: Histograma del tiempo de espera del jetfoil (medido)	103
Figura 3.4: Histograma del tiempo de espera del avión (medido)	104
Figura 7.1: Tiempo de espera en la parada	172

Índice de gráficos

Gráfico 1.1: Partición modal 1993-1994.....	22
Gráfico 1.2: Partición modal de 1994 a 2004	22
Gráfico 1.3: Partición modal actual	23
Gráfico 3.1: Elección y sexo	84
Gráfico 3.2: Elección e ingreso.....	85
Gráfico 3.3: Elección y edad.....	85
Gráfico 3.4: Elección y viaja acompañado (datos sin depurar)	88
Gráfico 3.5: Elección y viaja acompañado (encuesta).....	88
Gráfico 3.6: Elección y frecuencia.....	89

1 Introducción

En los últimos años las Islas Canarias han experimentado un intenso crecimiento económico y demográfico que ha venido acompañado de la multiplicación de las necesidades de transporte. El creciente volumen de pasajeros entre las islas invita a profundizar en el conocimiento de la demanda de transporte en el archipiélago y a definir estrategias para las políticas de transporte en este tipo de rutas interurbanas que, por su naturaleza, sólo pueden ser servidas por medios marítimos y aéreos.

Por otro lado, las Islas Canarias constituyen un caso ejemplar de los efectos de la liberalización de la competencia en el transporte de pasajeros. En efecto, a partir de 1994 los cambios de la demanda derivados de la apertura del transporte marítimo dieron lugar a un aumento del número de viajes y una caída de las tarifas, con cambios importantes en la partición modal y el efecto a largo plazo de la competencia.

En esta tesis se desarrolla un trabajo de análisis económico aplicado al transporte de pasajeros entre Gran Canaria y Tenerife que considera múltiples objetivos en diferentes áreas; tanto en los aspectos econométricos (modelación y validación especialmente) como en la incorporación eficiente de información en el modelo y en el rol de las percepciones dentro de las decisiones de los individuos.

A continuación se describen los objetivos principales de esta tesis, el contexto donde se aplica y la estructura del trabajo.

1.1 Motivaciones y objetivos

- *El valor del tiempo*

Uno de los aspectos más destacados de la economía del transporte es la estimación del valor del tiempo pues éste, resulta imprescindible para el cálculo de los beneficios sociales en inversiones públicas. La importancia de este cálculo ha impulsado una abrumadora cantidad de aplicaciones desde el trabajo pionero de Beesley (1965). No obstante, pese a la enorme cantidad de evidencias disponibles, son todavía escasas las aplicaciones desarrolladas en España.

Por otro lado, la mayoría de los estudios se centra en el transporte urbano, en particular los viajes en coche y en transporte público (Wardman, 2001) mientras que en esta tesis se analiza una ruta interurbana. Además, los modos marítimos, salvo la investigación de González y Ortúzar (2002), no suelen ser objeto de análisis.

En comparación con el cúmulo de trabajos que estiman el valor del tiempo dentro del vehículo, resulta más infrecuente encontrar estimaciones de otros tipos de valor del tiempo, como de espera o el de acceso, sobre los que se dedicará una atención particular.

Finalmente, otro de los objetivos de esta tesis es verificar si existe una amplia variedad de valores del tiempo que refleje la heterogeneidad de los viajeros, pues una tendencia de los modelos de demanda de transporte contemporáneos es la búsqueda de especificaciones que capturen la creciente complejidad de la actividad humana.

- *Datos y percepciones*

La forma en la que intervienen las percepciones en la modelación es un aspecto poco estudiado dentro de la demanda de transporte. ¿Cuál es el papel de las percepciones? ¿De qué forma pueden éstas modelarse?

Esta tesis estudia el uso de esta información para mejorar los modelos y su aplicación en la práctica, además de analizar la relación entre los valores reales y los percibidos.

Por otro lado, en las encuestas de preferencias reveladas se conoce la información de los modos elegidos, pero no resulta fácil determinar la información de un mismo pasajero sobre los modos que no eligió. Por ejemplo, si bien es posible determinar cuánto esperó el individuo para desplazarse en el modo elegido, desconocemos cuánto esperaría en los modos alternativos. Así pues, otro de los propósitos de la tesis es analizar formas prácticas de incorporar información sobre los modos alternativos que resulten coherentes con la modelación y no supongan un aumento de los costes de la encuesta.

En esta línea, es interesante determinar de qué forma influye el contexto en la formulación de las preguntas, y si existen situaciones y momentos más adecuados para preguntar a los viajeros.

- *Modelación y validación: la predicción de un nuevo modo*

La modelación de las elecciones en el transporte es un componente esencial del análisis de la demanda y constituye la base para definir estrategias de planificación apropiadas. Uno de los propósitos de la tesis será contrastar los resultados con las diferentes tipos de modelación.

En segundo lugar, nos proponemos validar el modelo con los cambios producidos en el mercado aprovechando el cambio de un modo por otro que tuvo lugar en el mercado durante el desarrollo de la tesis. Esto nos brinda la oportunidad de comprobar la potencia predictiva del modelo enfrentándolo a la realidad de un

mercado que ha experimentado un cambio repentino y discutir sobre la forma en que el modelo ofrece mejores resultados en estas circunstancias.

1.2 Descripción del mercado

1.2.1 El contexto: las Islas Canarias

El archipiélago cuenta con 1.968.280 habitantes, según datos del Instituto Estadístico de Canarias (ISTAC). Tenerife y Gran Canaria suman 1.650.124 personas, esto es, más del 80% de la población del archipiélago (ver Figura 1.1).

Las dos capitales, Santa Cruz de Tenerife y Las Palmas de GC, con 221.567 y 378.627 habitantes respectivamente, constituyen las dos ciudades más pobladas del archipiélago y albergan los centros administrativos, económicos y financieros más importantes de la región.

Ambas islas cuentan con tres aeropuertos, dos en Tenerife (Tenerife Norte y Tenerife Sur) y uno en Gran Canaria. Este último es el quinto de España por su volumen de tráfico que alcanzó, en el año 2004, los 9.224.000 pasajeros, cifra equivalente a la suma de los pasajeros que utilizaron los dos aeropuertos tinerfeños.

Entre Gran Canaria y Tenerife se registra un tráfico de alrededor de 1.869.727 viajes al año, superior a todo el tráfico aéreo entre Madrid y París (1.376.000) o Madrid-Londres (1.263.000). De estos viajes, 1.240.000 se realizan por modos marítimos, siendo los 629.727 viajes restantes trayectos en avión.

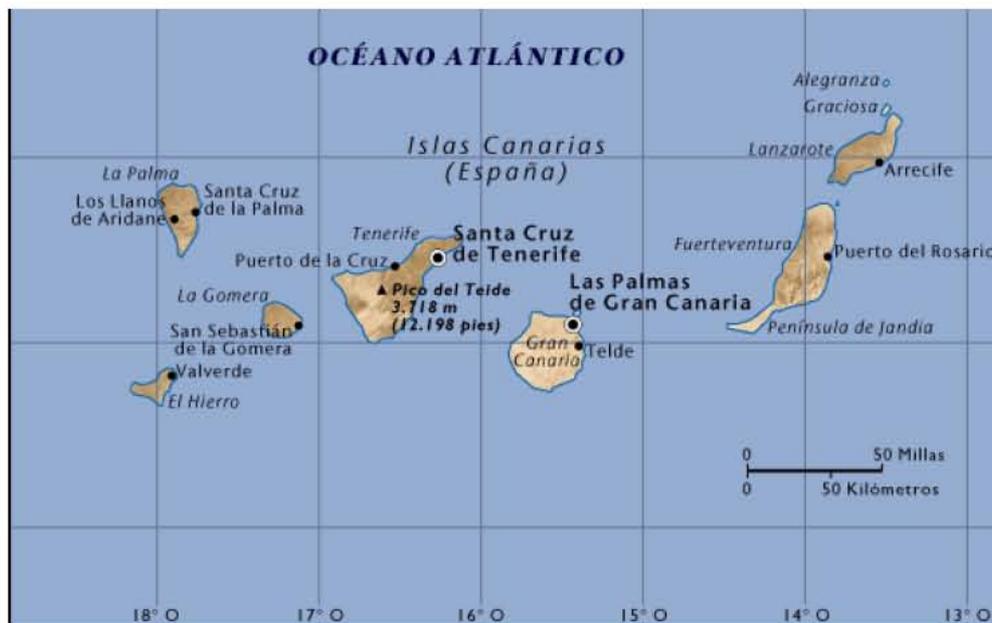


Figura 1.1: Islas Canarias



Figura 1.2: Mapa de modos y rutas

1.2.2 Descripción de los modos de transporte interinsulares

Cuando se realizó la encuesta había cuatro modos en servicio (ver Figura 1.2):

- Ferry lento: servido por la compañía Armas y también por Transmediterránea, de gran capacidad, capaz de transportar pasajeros pero volcado especialmente a las mercancías y vehículos. Su ruta conecta las dos capitales y circula a una velocidad de 16 nudos por hora, invirtiendo aproximadamente 225 minutos en el viaje.
- Ferry rápido: También puede transportar pasajeros y mercancías, pero, a diferencia del anterior, se trata de una embarcación más ligera que más que duplica su velocidad. La compañía Fred Olsen ofrece este servicio desde su puerto de Agaete. Por tanto, para los usuarios que parten de la capital hay que recorrer primero la distancia entre la capital y Agaete (situado en el este de la isla y mucho más próximo a Tenerife), bien en su propio coche (que luego podrá embarcar o aparcar gratuitamente), bien en el autobús gratuito que la compañía fleta para sus pasajeros partiendo del centro de la ciudad de Las Palmas. Este modo tarda una media de 72 minutos en desplazarse desde Agaete hasta la capital de Tenerife.
- Jetfoil: también llamado *hidrofoil* o *hidroala*¹; se trata de una embarcación ligera equipada con motores de avión que se desliza por encima del mar, evitando así la resistencia del agua. Circula a 43 nudos por hora y desplaza sólo pasajeros. Transmediterránea ofreció los servicios del jetfoil en la ruta estudiada hasta 2005. Su tiempo de viaje era de 80 minutos de capital a capital.
- Avión: Hasta hace poco, la compañía Binter –que vino a sustituir a Iberia- era la única empresa que servía vuelos entre las dos capitales. Anteriormente al periodo en el que se realizó la encuesta, también Spanair hacía este recorrido, aunque con una cuota marginal. Los aviones que realizan este recorrido son embarcaciones pequeñas denominadas ATR-72 tipo turbohélice, capaces de transportar 72 pasajeros, circulando a una velocidad de crucero de 520 kilómetros /hora. El tiempo de viaje es de 33 minutos para Tenerife norte y 35 para Tenerife sur.

1.2.3 El mercado de transporte de pasajeros entre Gran Canaria y Tenerife

Este mercado ha experimentado tres fases. En principio, bajo la protección del monopolio de los transportes marítimos de pasajeros, Transmediterránea ofrecía este servicio, desde su implantación en 1981 con la prácticamente desdeñable competencia del ferry lento de Armas y la competencia intermodal del avión. De hecho, la ruta estaba liderada por el jetfoil hasta que el avión lo supera repentinamente gracias al aumento de su frecuencia y disminución de tarifas (ver Gráfico 1.1).

¹ El Diccionario de la Real Academia no admite ninguna de las tres palabras pero tampoco ofrece alternativa. Por su enorme divulgación en los medios y entre el público en general, se utilizará la palabra jetfoil para designar a este modo.

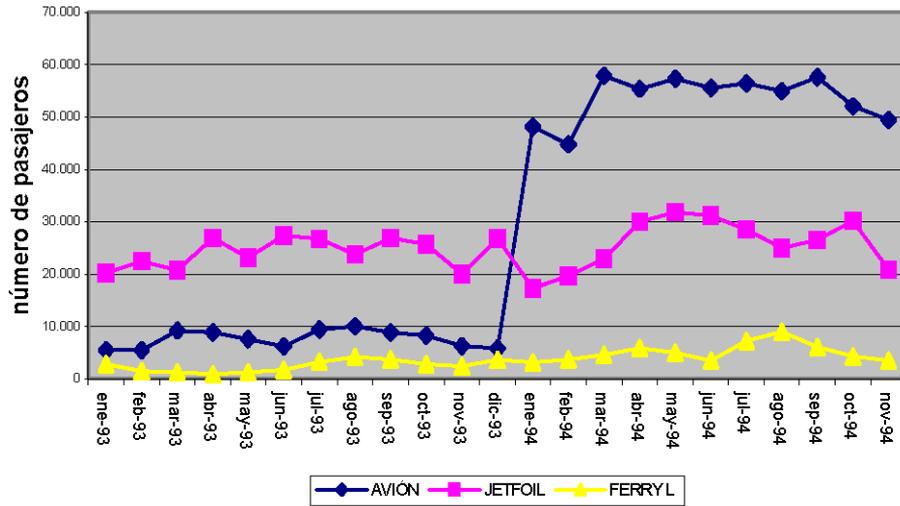


Gráfico 1.1: Partición modal 1993-1994

A partir de 1994 con la entrada en vigor de la liberalización de los transportes marítimos de pasajeros en España, Fred Olsen entra en el mercado ofreciendo la conexión con Santa Cruz de Tenerife desde el mucho más cercano puerto de Agaete, permitiendo así un desplazamiento rápido en coche de una isla a otra. La irrupción del ferry rápido supuso un descenso de las tarifas de todos los operadores y un notable aumento del número de viajes. A partir de 1999, además, el ferry rápido se convierte en el modo más popular y el jetfoil, que antaño había gozado de ese liderazgo, inició su decadencia (ver Gráfico 1.2).

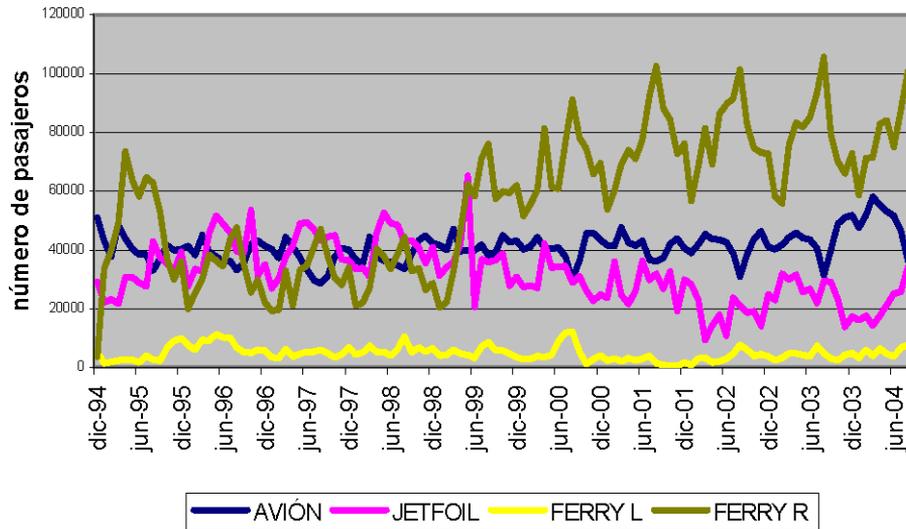


Gráfico 1.2: Partición modal de 1994 a 2004

A finales del 2004, el jetfoil es reemplazado, en la misma ruta por un tipo de ferry rápido gestionado por Transmediterránea que, en principio consiguió hacerse con una porción del 12% de la demanda antes de desaparecer. La retirada de la compañía Transmediterránea estuvo relacionada también con la desaparición de las subvenciones que recibía.

En la situación actual hemos pasado, por tanto, a una especie de duopolio avión-ferry rápido con un papel marginal para el ferry lento de Armas (ver Gráfico 1.3).

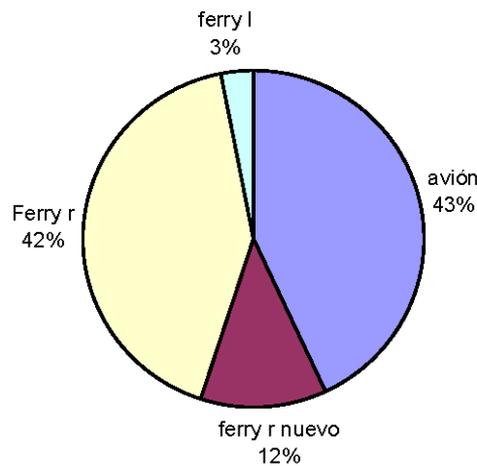


Gráfico 1.3: Partición modal actual

1.3 Estructura del trabajo

El capítulo dos presenta una revisión teórica de los principales modelos de elección discreta que luego serán utilizados más adelante y de los modelos que explican el valor subjetivo del tiempo.

En el siguiente capítulo se explica la encuesta, los datos, cómo se midieron las variables de acceso y se desarrollan modelos que relacionan las percepciones de los individuos con los datos reales.

El capítulo cuatro está dedicado a la modelación propiamente dicha, distinguiendo, principalmente, entre modelos logit simple y logit mixto. Se exponen los modelos y se seleccionan las mejores especificaciones.

El capítulo cinco contiene los aspectos finales de la tesis: se ofrecen los resultados en cuanto al valor del tiempo y sus intervalos de confianza, y se valida el modelo contrastando la predicción de un modo nuevo con la realidad. Finalmente, el capítulo seis resume las principales conclusiones del trabajo.

2 Fundamentos teóricos

En los modelos de elección discreta los individuos se enfrentan a conjuntos de elección donde: (1) el número de alternativas es finito; (2) estas alternativas son mutuamente excluyentes y (3) se trata de un modelo exhaustivo, esto es, todas las posibles alternativas están incluidas (Train, 1986). Estos modelos son imprescindibles para entender todos los procesos de decisión de los sujetos en muchas situaciones cotidianas, en particular en el transporte.

En la primera parte de este capítulo se revisan los modelos más importantes y, en particular, los que se encuentran más relacionados con la investigación en sí. También se describe la evolución del paradigma de la elección del consumidor en microeconomía. Así, partiendo del modelo neoclásico con un bien homogéneo y continuo, se expone la transformación de la teoría hacia un planteamiento más realista, donde convergen planteamientos de la psicología y la economía.

En la segunda parte se describen las principales teorías en torno al valor subjetivo del tiempo.

2.1 Los modelos de elección discreta

2.1.1 *El desarrollo de la disciplina*

La teoría neoclásica del consumidor parte de un individuo perfectamente racional que elige aquel nivel de bienes que maximiza su utilidad. Este planteamiento permitió el desarrollo de la economía walrasiana (Walras, 1954) y el equilibrio general formalizado en, por ejemplo, Debreu (1959). Las limitaciones de este enfoque han sido planteadas por muchos autores:

- a. Los sujetos eligen un bien homogéneo cuyas unidades se miden mediante una variable continua.
- b. La utilidad se define de forma sencilla a partir de la cantidad consumida del bien.
- c. La utilidad se plantea como algo cierto, determinístico, sin incertidumbre.
- d. No hay posibilidad de establecer predicciones en base a modificaciones de las condiciones iniciales.

A continuación y siguiendo este esquema, vamos a explorar cómo fueron superadas las carencias y debilidades del planteamiento tradicional, hasta llegar a las formulaciones más audaces de los modelos de elección discreta en la actualidad.

2.1.1.1 *De la economía clásica a la elección discreta*

Existe la convicción general de que el proceso de evolución de la ciencia está ligado a la transformación de la cuantificación en términos continuos al paso de unidades discretas (Crosby, 1998) Así, la forma en la que las diferentes teorías han convergido en los modelos de elección discreta y el desarrollo posterior de estos, ha sido un proceso plural con aportaciones de la biología, la psicología, la sociología y la economía.

Por ejemplo, los modelos con variables dependientes cualitativas tuvieron su origen en las ciencias biológicas. Fechner (1890) al analizar el nivel de respuesta de individuos (sean insectos, plantas, etc.) ante diferentes dosis de cierto estímulo (insecticidas, herbicidas, etc.) consignó las respuestas en términos discretos (responde o no responde al estímulo). Posteriormente, el análisis discreto saltó a la sociología y las otras ciencias sociales. Más adelante, surge la primera aplicación de modelos de elección discreta en economía, debida a Warner (1962), que usó un logit binario para modelizar la elección entre transporte público y privado.

El otro aspecto crucial en la estructura neoclásica consistía en la asociación de la utilidad a los bienes de forma directa. Frente a este planteamiento, Lancaster (1966) propone que los bienes tienen propiedades intrínsecas y que las utilidades asociadas a los bienes se definen a partir de estos atributos. Así, pues la relación entre la utilidad y los bienes no es directa, sino indirecta a partir de sus características. Esto va a abrir la puerta a la definición de las utilidades asociadas a cada opción, a partir de atributos medibles y, por tanto, a la construcción de herramientas de predicción que pueden ser aplicadas a problemas reales.

2.1.1.2 *De la utilidad determinística a la aleatoria*

La teoría neoclásica supone que el individuo elige la opción que maximiza su utilidad; se trata, pues, de una utilidad determinística. Sin embargo, en la realidad, se observa que los individuos no son consistentes, esto es, no siempre responden de la misma forma ante el mismo conjunto de alternativas.

Experimentos en biología demostraron que el mismo sujeto reaccionaba de forma diferente ante el mismo estímulo. Como solución analítica a esa inconsistencia aparece la teoría de la utilidad aleatoria formulada primeramente por Bernoulli en 1738²: Las opciones están asociadas a utilidades que se derivan de sus consecuencias pero vienen matizadas por probables estados de la naturaleza, es

² Daniel Bernoulli, físico y matemático, da respuesta a la paradoja de San Peterbusgo sobre la no coincidencia entre las ganancias esperadas de un juego y la disponibilidad a pagar. Bernoulli establece la idea de que lo relevante no son las ganancias esperadas, sino la utilidad esperada y caracteriza a ésta como una función marginalmente decreciente. Posteriormente daría lugar a la revolución marginalista de Jevons (1905), Menger (1871) y Walras (1874).

decir, por circunstancias que podrían darse, que dependen de variables que no están bajo control del sujeto.

En este sentido Tversky (1972) sostiene:

Con frecuencia, cuando los individuos se enfrentan a una elección entre varias alternativas, manifiestan inseguridades en su decisión y no resultan consistentes. Es decir, no siempre están seguros de su elección ni tampoco responden de la misma forma aunque las circunstancias sean las mismas. (Tversky, 1972, p281)

Tversky concluye pues que debido a la incertidumbre e inconsistencia de las decisiones observadas el proceso de elección ha de ser contemplado como un proceso probabilístico.

Se observan así dos posibles fuentes de aleatoriedad en el proceso de decisión: en primer lugar, *ésta puede deberse al propio sujeto que, al no ser totalmente consistente en sus decisiones, tiene un componente irracional que es preciso modelizar*. Los modelos que siguen esta idea de la existencia de la una decisión estocástica son los de los psicólogos matemáticos como Luce (1959) o el propio Tversky.

En segundo lugar, el origen de la aleatoriedad puede deberse a la existencia de causas no observadas, factores no detectados, variables que no pueden medirse o que escapan al control del modelador. En definitiva, *el origen estocástico de la decisión radica en la falta de información, que impide especificar de forma completa la utilidad*. Esta es la idea de la utilidad estocástica, que subyace en los modelos provenientes de la economía (Mc Fadden, 1968; Manski, 1977).

Manski (1981) explica cómo se estructuran analíticamente ambos enfoques, el psicológico y el econométrico. El primero define una serie de propiedades matemáticas que un conjunto de probabilidades de elección debe cumplir; en segundo lugar busca la forma que la función de probabilidad debe tener para cumplir con esas propiedades. Así, los psicólogos consideran que cada individuo (*decision-maker*) tiene asociado una distribución de funciones de utilidad. Cada una de sus elecciones supone una realización aleatoria de una de esas funciones de utilidad.

La interpretación econométrica, tratada en Manski (1977) y también en McFadden (1973), considera una representación estadística del proceso de elección. A partir de este modelo de comportamiento aparecen las probabilidades de elección. Así, a lo largo de la población de los individuos existe una distribución de funciones de utilidad (que no es una distribución intra-individuos como en el planteamiento de la psicología). La función asociada con cada persona es fija pero el investigador no es capaz de observarla.

Esta no observación, esta incertidumbre en la utilidad, combina dos ideas: la de variación en los gustos entre los individuos y la idea de variables no observadas en los modelos. En consecuencia hay dos fuentes de heterogeneidad en el problema (Anderson *et al*, 1992): inter-individuos (los individuos son diferentes, tienen diferente idiosincrasia, gustos e información) e intra-individuos (un mismo sujeto reacciona de forma diferente ante el mismo estímulo)

Mansky (1977) identifica cuatro fuentes de incertidumbre:

- *Características no observables*: El modelador sólo conoce parte del vector de características que definen las alternativas.
- *Variaciones de la utilidad individual*: variaciones debidas a la heterogeneidad de los gustos de los individuos que no son conocidas por el modelador.
- *Errores de medida*: cualquier variable del modelo puede verse afectada por errores de medida.
- *Errores en la especificación del modelo*: Los modelos que se usan son casi siempre lineales, es posible, por ejemplo, que las variables guarden entre sí una relación no lineal, multiplicativa o de otra naturaleza.

2.1.1.3 La revisión del supuesto de racionalidad

La Figura 2.1 representa el modelo estándar de elección para los economistas (flechas negras y cuadros azules es el modelo de los economistas mientras que los cuadros amarillos y flechas rojas son aportaciones de los psicólogos).

El proceso de decisión racional se describe así: después de adquirir información acerca de las alternativas, los individuos definen un conjunto de atributos relevantes. Proceso complejo que implica percepciones, creencias, motivaciones y actitudes; todo lo cual termina confluyendo en un conjunto de preferencias, que son anteriores a la propia existencia del conjunto disponible de opciones. La elección invoca la influencia de estas motivaciones, preferencias, aptitudes y percepciones restringidas a la disponibilidad de tiempo y dinero que el sujeto posea (Louviere, 1988).

Las actitudes y motivaciones afectan a las percepciones que, a su vez, se ven influidas por éstas. Los individuos buscan maximizar preferencias innatas y estables sobre cantidades y atributos de los bienes que consumen. Las preferencias están predeterminadas en cualquier situación de elección y no dependen de las alternativas que están disponibles. Por tanto, el deseo precede a la disponibilidad (McFadden, 1999).

Las diferencias entre el modelo económico estándar y el de los psicólogos radican en que el primero considera el proceso de decisión como una caja negra en la que el resultado de la elección y los inputs de información son los elementos relevantes; por el contrario, la psicología analiza el proceso de decisión en sí. Por

otro lado, la economía se fundamenta en la existencia de percepciones y preferencias estables, que no dependen del contexto, siendo el sujeto un ser plenamente racional que maximiza su utilidad y llega, de este modo a su decisión. En contraste, los psicólogos sostienen que las percepciones y preferencias son inestables, mutables y dependientes del contexto; así, el comportamiento es local y adaptativo.

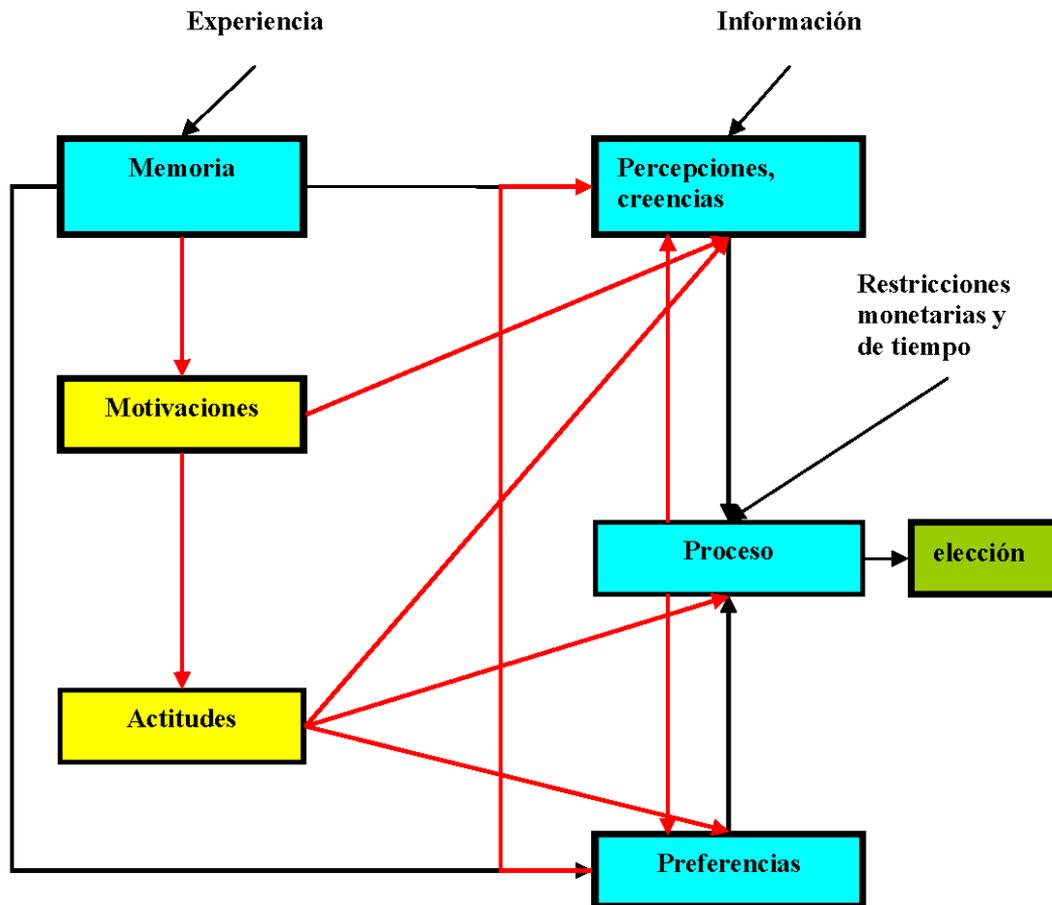


Figura 2.1 Actual modelo de elección

Fuente: McFadden, (2001), página 356

McFadden (1999) sostiene que el modelo estándar de percepción y racionalidad – lo que llama “Chicago man”- es falso:

“...hay una abrumadora cantidad de pruebas en contra de la interpretación literal del *Chicago man* como un modelo universal de comportamiento” (Mc Fadden, 1999; p76)

Hay evidencias de fallos en la racionalidad de los sujetos, de zonas oscuras (Tversky y Kahneman, 1981) que conducen a inconsistencias. Además, los psicólogos consideran que, con frecuencia, las decisiones son el resultado de la aplicación de actitudes y principios morales. MacFadden, a partir de los experimentos de Tversky y Kahneman, describe un nuevo paradigma, un nuevo *homo irrationalis* que llama el *T-K man*. La realidad, asegura, se sitúa en alguna posición entre el *Chicago man* y el *T-K man*. La pregunta que deben responder los economistas es hasta qué punto las anomalías cognitivas afectan al comportamiento de los consumidores.

McFadden recopila todas las evidencias de fallos cognitivos³ (ver, también, Rabin, 1998) que demuestran que el paradigma del *Chicago man* no puede continuar aceptándose como la base teórica del comportamiento humano: “Yo concluyo afirmando que la percepción racional falla y que estos fallos son sistemáticos, persistentes, muy extendidos y de amplia magnitud” (McFadden, 1999, p. 95). Sin embargo, el análisis económico convencional puede sobrevivir a este desafío que, no obstante apunta la nueva dirección a la que deben orientarse las herramientas econométricas en el futuro.

Rabin (1998): reúne experimentos y evidencias provenientes del campo de la psicología que ponen en evidencia la necesidad de revisar las construcciones teóricas tradicionales de la economía:

1. Para empezar, es importante considerar el punto de referencia. Las personas son más sensibles a los cambios que a los niveles absolutos de los atributos. Por ejemplo, dentro del caso del transporte, el efecto de la rutina, y de la experiencia continuada en un modo, debería de ser considerado, además de las variables de servicio y de las socioeconómicas.
2. En segundo lugar, Rabin también revisa el axioma del propio interés: con frecuencia los individuos se mueven por razones altruistas que complementan sus decisiones puramente egoístas. Aunque hay amplia literatura tratando este tema, en el caso de la elección discreta aplicada al transporte no parece haber muchas experiencias.
3. Rabin explica el sesgo de las creencias: los individuos que parten de una concepción previa, de un juicio *a priori*, de cierto conocimiento de las cosas, del estado de la naturaleza, no sólo no van a modificar sus creencias ante cambios en la información que reciben, sino que se ha observado su

³ Éstos pueden clasificarse en: efectos contexto (la forma en la que las alternativas son presentadas afectan a su valoración); efecto punto de referencia (las elecciones son evaluadas en términos de los cambios a partir del *status quo*); efecto disponibilidad (los eventos iniciales y finales son percibidos de forma más clara); efecto superstición (los consumidores fallan aceptando las consecuencias lógicas de las acciones); efecto proceso (el comportamiento está guiado por principios, analogías y ejemplos; en lugar de seguir cálculos utilitarios); efecto proyección (los juicios de un sujeto se alteran para reforzar internamente o proyectar a los otros cierta imagen de sí mismo)

- tendencia a polarizar sus posturas cuanto más información adicional se les proporciona.
4. La gente pondera la información basada en experiencias personales de forma más intensa que cualesquiera otras fuentes de información por muy fiables que éstas sean. Así por ejemplo, si alguien ha tenido un accidente en cierto modo interurbano o si ha sido impresionado por las imágenes o la cercanía de un accidente, su percepción de la seguridad del mismo no se verá alterada por estadísticas favorables, por el conocimiento objetivo y exhaustivo de esa seguridad.
 5. Está comúnmente extendida la idea de que a pesar de los sesgos y de los puntos ciegos de irracionalidad en el comportamiento de los sujetos, se cumplirá el axioma de racionalidad si tomamos grandes muestras, si la experiencia se repite o si el grado de información de los individuos mejora. De acuerdo con Rabin, no ocurre así; incluso, el aumento de la información puede exacerbar los errores cometidos.
 6. Finalmente Rabin detecta la existencia del *efecto marco* que indica la tendencia a atender los aspectos nominales de los atributos en lugar de los reales; es decir, dependiendo de la forma en que se exhiben los atributos, de la gramática e imagen llegamos a diferentes conclusiones. En segundo lugar el efecto contexto: al aparecer una alternativa nueva con peores características y precios, la demanda de una de las alternativas preexistentes crece. Por último, la demostrada inconsistencia temporal en que las ganancias presentes eclipsan las futuras.

Por otro lado, los individuos con frecuencia predicen erróneamente su utilidad futura. Kahneman (1994) distingue entre *utilidad experimentada*, que considera la medición hedónica de una experiencia pasada, y la *utilidad-decisión* de una experiencia. Esta última sería el peso asignado a esa experiencia en una decisión. La *utilidad experimentada* y *decisión* podrían ser totalmente diferentes, lo que rompería el modelo de elección que usamos.

Al tomar decisiones los individuos no consideran el efecto de estas elecciones sobre las utilidades futuras, esto es, los individuos ignoran sus futuras *internalidades*. Los sujetos no sólo calculan incorrectamente sus utilidades futuras sino que evalúan las utilidades pasadas de forma desenfocada. Al evaluar episodios pasados las personas tienden a recordar momentos de dolor o placer extremos, en lugar de la media; se pone más énfasis en la fase final del proceso que en su totalidad; se perciben de forma incorrecta los tiempos de duración: se tiende a despreciar la duración de procesos extremadamente desagradables.

Finalmente, dentro de este contexto de revisión se encuentra la evidencia de que las decisiones individuales se ven, de hecho, afectadas por las decisiones de los otros (elección discreta con interacciones sociales; Brock, 2001)

De todo lo anteriormente expuesto se concluye que el proceso clásico de maximización de la utilidad no es necesariamente realista y tampoco las

preferencias pueden ser permanentes ni consistentes; no obstante, todo esto no cuestiona el edificio econométrico construido en torno a los modelos de elección, pero sí supone un estímulo ante la revisión de los modelos existentes.

2.1.1.4 Alternativas al modelo tradicional

Ante la acumulación de evidencias sobre los fallos cognitivos del ser humano, es conveniente revisar el modelo económico de elección del consumidor que parece situarse más cerca de la visión de la psicología que de la economía. Posibles alternativas que tienen el mérito de superar el marco de los modelos de elección discreta asumiendo postulados provenientes de la psicología son, entre otras, la lógica difusa y los modelos híbridos.

Los modelos de elección híbridos (Ben-Akiva et al., 2002) recogen las propiedades de varios tipos de modelos, incorporando elementos procedentes de la psicología (ver Figura 2.2) al considerar dos tipos de información: *dura* y *blanda*. La primera clase se refiere a las elecciones, atributos y variables socioeconómicas, información típica de los modelos tradicionales; la segunda considera el contexto, percepción, formación, motivaciones, actitudes y restricciones latentes. Los modelos híbridos combinan los avances de la metodología tradicional añadiendo, como un nuevo input, la información blanda.

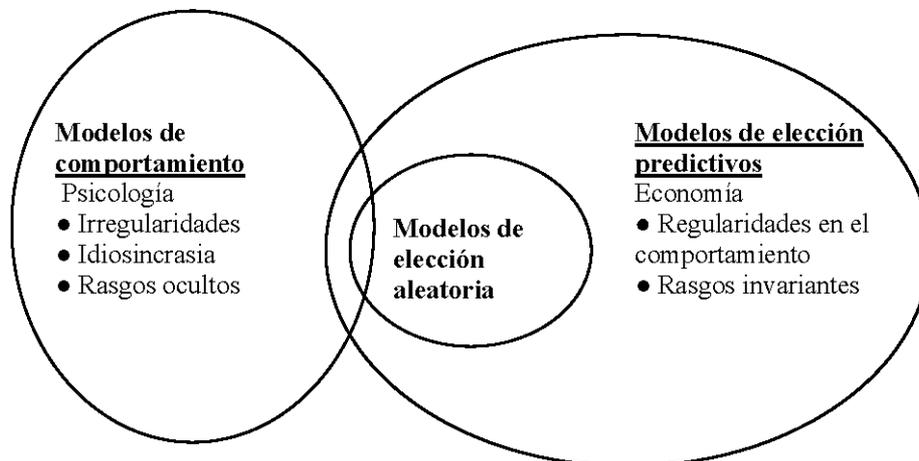


Figura 2.2: Modelos híbridos
Adaptado de Ben-Akiva *et al* (2002, p164)

Existen aplicaciones en la economía de transporte que mezclan el análisis discreto con la lógica difusa⁴. Por ejemplo, Lotan y Koutsopoulos (1993) consideran que los conductores no comparan las alternativas en términos de los valores exactos de sus

⁴ La lógica permite presentar de forma matemática opciones imprecisas, que son las que se manifiestan en la vida real. Su origen se encuentra en Zadeh (1959)

atributos sino que usan valores lingüísticos tales como alto, muy alto, bajo, etc. Vythoukias y Koutsopoulos (2003) presentan otras aplicaciones de modelos de elección discreta basados en la lógica difusa; sin embargo, estos enfoques no han tenido aún un desarrollo interesante.

A modo de recapitulación, la Figura 2.3 representa el desarrollo de los modelos de elección discreta tal y como lo hemos explicado aquí: partiendo del modelo neoclásico del consumidor, la evidencia en la aleatoriedad en las respuestas de los individuos conduce a explicaciones divergentes por parte de la psicología (individuos no racionales que eligen aleatoriamente una regla de decisión) y la economía (individuos racionales cuyo comportamiento no es totalmente conocido). Ambos planteamientos conducen a herramientas de análisis similares. Finalmente, la fusión de ambos sistemas da lugar a los modelos híbridos que se han referido antes.

2.1.1.5 Evolución de la forma analítica de la utilidad

Como se ha señalado, la primera formulación de la utilidad esperada, como anticipo de la utilidad aleatoria, proviene de Bernuolli. Sin embargo, fue Thurstone (1927) con su *Law of comparative judgements* quien sistematizó la utilidad con un componente aleatorio.

Posteriormente, Luce (1959) introduce el concepto de independencia de alternativas irrelevantes (IAI) procedente, a su vez, del Teorema de Imposibilidad de Arrow⁵ (1951). Este supuesto implica que el ratio de probabilidades entre dos alternativas no cambiará ante modificaciones del conjunto de alternativas⁶ y permitirá el hallazgo de expresiones analíticas tratables en la práctica.

Luce y Supes (1965), partiendo del axioma IAI establecen un modelo de decisión secuencial que permite derivar la fórmula del conocido modelo logit simple. Consideran que cada individuo posee una distribución de funciones de utilidad y selecciona una de forma aleatoria, cada vez que toma una decisión.

⁵ Este teorema sostiene que no hay una forma general de agregar preferencias sin incurrir en alguna irracionalidad o injusticia en el resultado. Arrow demostró que para lograr un resultado consistente era necesario establecer unas condiciones de partida, entre las cuales se encuentra la IAI que viene a decir que si restringimos nuestra atención a un subconjunto de opciones, los cambios del ranking de opciones alternativas –fuera de ese subconjunto–no deberían influir en el subconjunto relevante.

⁶ Así por ejemplo, si dos modos de transporte se reparten el mercado al 50%, $P_1/P_2=1$ y este ratio se mantendrá incluso si se introduce una tercera alternativa

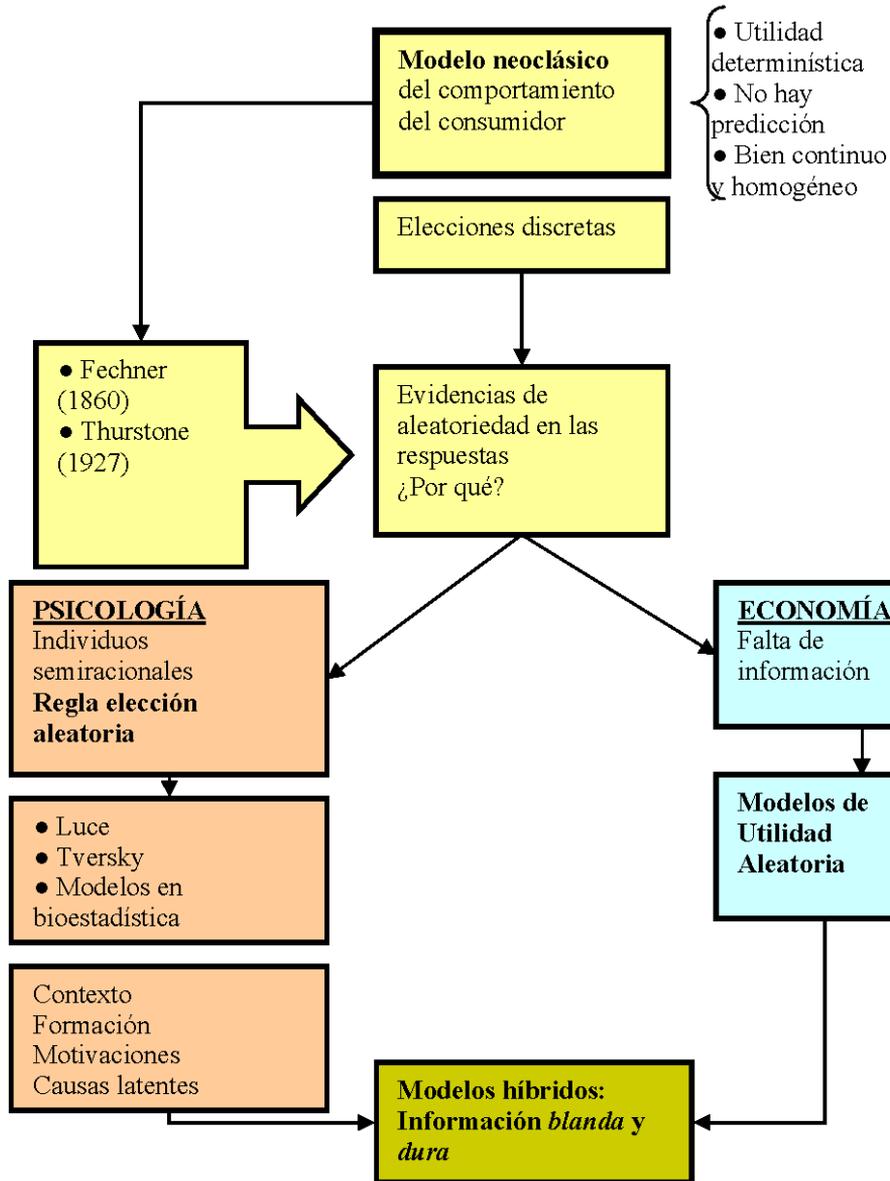


Figura 2.3 Evolución de los modelos de elección discreta

Tversky (1972) plantea un modelo en el que la elección no se basa en las alternativas sino en las características que describen esas alternativas. Por otro lado, en su modelo la elección se realiza en términos binarios. O se posee o no se posee cierta característica. Para el caso de variables no dicotómicas se plantea la solución de establecer un umbral.

Se trata de un proceso secuencial en el que se van descartando aquellas alternativas que no poseen ciertos atributos hasta que el conjunto de opciones queda reducido a

las alternativas que poseen exactamente los mismos atributos. Llegado a este punto la probabilidad de elección se divide a partes iguales.

Ahora bien, el resultado del proceso descrito dependerá de la secuencia de características elegidas, de modo que la probabilidad de elegir una alternativa en particular es igual a la suma de las probabilidades de todas las secuencias que terminan en esa alternativa.

De Tversky podemos destacar dos ideas esenciales: en primer lugar, el modelo que propone es más general que el de Luce y, de hecho, éste último se puede obtener como una versión particular del primero sin más que considerar que las características de las alternativas presentes en el conjunto de alternativas son todas diferentes. Por lo demás, este modelo no impone la restricción de IAI (Willians y Ortúzar, 1982).

La debilidad del modelo queda de manifiesto por la exigencia de planteamientos dicotómicos (se posee la característica o no se posee), la imposibilidad de representar niveles dentro de cada característica (en lugar de sí o no) y su extraordinaria complejidad cuando se tratan varias alternativas⁷.

Marschak (1960) trae el concepto de utilidad de la psicología matemática y formula la teoría de la utilidad aleatoria que a su vez es utilizada por McFadden (1974) para, junto con el axioma de la IAI, formular el desarrollo analítico del logit simple multinomial (MNL). McFadden demuestra que usando una distribución Gumbel para las perturbaciones aleatorias puede derivarse una fórmula muy sencilla para estimar las probabilidades de elección de cada alternativa. Las primeras aplicaciones al transporte llegan de la mano de Domencich y McFadden (1975).

Otra aportación de McFadden (1977) fue la utilidad de utilizar modelos desagregados; es decir, modelos que utilizan datos a nivel individual, en lugar de medias u otras variables agregadas que pueden conducir a conclusiones incorrectas⁸.

Un problema que afrontaron los investigadores era la necesidad de encontrar formas más flexibles para los modelos de elección que, al mismo tiempo, pudieran resolverse en la práctica. Como respuesta a ese reto, en un primer momento aparece el modelo logit jerárquico (Willians, 1977; Daly y Zachary, 1978) el probit multinomial (Daganzo, 1979) y los modelos de valor extremo generalizado (GEV) de McFadden (1978), donde se relaja la restricción de que los errores distribuyen independientemente (Manski, 2001).

⁷ No obstante, funciones basadas en este modelo se han planteado recientemente en la literatura (Cantillo *et al*, 2006).

⁸ Véase por ejemplo, la falacia ecológica (Spear, 1997)

Una segunda generación de modelos surge desde el momento en que los avances en la computación unidos a la posibilidad de resolver integrales mediante simulación permiten la aplicación de modelos logit mixtos (Train, 2003).

2.1.2 La teoría de la utilidad aleatoria: supuestos del modelo

En los modelos que utilizamos en este trabajo se consideran los siguientes supuestos:

- las alternativas son mutuamente excluyentes
- la utilidad es definida a través de sus atributos (medibles)
- el individuo es racional, elegirá la alternativa que le proporcione mayor utilidad
- el modelador tiene información incompleta y debe añadir una parte aleatoria a la función de utilidad.

En consecuencia, el problema puede enunciarse de la siguiente forma: Sea un individuo n que debe escoger una alternativa j dentro de un conjunto de alternativas disponibles y mutuamente excluyentes J . El individuo elegirá la alternativa que le proporcione mayor utilidad.

Así mismo, el individuo posee un conjunto de características socioeconómicas de las que el modelador conoce algunas s_n . Por tanto, el investigador observa la elección del sujeto y conoce *parte* de los componentes de la utilidad: el nivel de los atributos de cada opción z_{nj} y las características s_n de los individuos (Tabla 2.1)

Tabla 2.1: Planteamiento del problema

Individuo	Investigador
<ul style="list-style-type: none"> • Elige una opción i entre J alternativas • Cada alternativa le proporciona una utilidad U_j • Elige aquella opción i superior a las demás: $U_i > U_j$ para todo $j \neq i$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Observa la elección • Conoce <i>parte</i> de los componentes de la utilidad: <ol style="list-style-type: none"> a. valor de los atributos de cada opción z_{nj} b. características s_n de los individuos • Con esta información puede formar la utilidad representativa V_{nj}. Por tanto $V_{nj} = f(z_{nj}, s_n) = f(x_{nj})$ siendo $x_{nj} = z_{nj} + s_{nj}$

Pero es evidente que el investigador desconoce la utilidad de completa, de manera que en general $V_{nj} \neq U_{nj}$. Así pues, para el modelador la única forma de

aproximarse a la utilidad real es añadiendo un término error a la utilidad conocida que, por ende, la convertirá en probabilística (Ortúzar y Willumsen, 2001):

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj} \quad (2.1)$$

donde V_{nj} constituye la parte medible o sistemática de la utilidad y ε_{nj} la parte aleatoria que representa la idiosincrasia y los gustos particulares de cada individuo.

En (2.1) la utilidad determinística V_{nj} se define a partir de las características x_{knj} conocidas por el investigador, usualmente de forma lineal.

$$V_{nj} = \sum_{k=1}^K \beta_{kj} x_{knj} \quad (2.2)$$

donde β_{kj} son cada uno de los K parámetros a estimar por alternativa que ponderan el efecto de cada atributo. Obsérvese que, si bien cambian con el modo, son comunes a todos los individuos.

Es posible, para una j dada, considerar que una de las X_{knj} es igual a uno para todo n , creando así constantes específicas para cada alternativa j . Sin embargo, dado que estas constantes no pueden ser especificadas para toda j debido a que esto conduciría a un problema de multicolinealidad, y siendo que al trabajar con utilidades sólo son relevantes las diferencias, es posible normalizar estas constantes asumiendo diferencias respecto de una de ellas (la alternativa nula o de referencia con constante igual a cero) estableciendo así J-1 constantes específicas cuyos parámetros se debe estimar.

La probabilidad de que el sujeto n elija i será la probabilidad de que esa opción sea mejor que ninguna otra. Por tanto,

$$\begin{aligned} P_{ni} &= P(U_{ni} > U_{nj} \quad \forall j \neq i) \\ P_{ni} &= P(V_{ni} + \varepsilon_{ni} > V_{nj} + \varepsilon_{nj} \quad \forall j \neq i) \\ P_{ni} &= P(\varepsilon_{ni} - \varepsilon_{nj} > V_{nj} - V_{ni} \quad \forall j \neq i) \\ P_{ni} &= P(\varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni} < V_{ni} - V_{nj} \quad \forall j \neq i) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Considérese ahora la función de densidad $f(\varepsilon)$ de los errores ε . A partir de ahí el cálculo de la probabilidad P_{ni} exigirá la resolución de la siguiente integral

$$P_{ni} = \int_{R_n} f(\varepsilon) d\varepsilon \quad (2.4)$$

donde $R_n = \{\varepsilon_{nj} < \varepsilon_{ni} + V_{ni} - V_{nj}\}$.

El propósito del investigador es determinar cómo las variables observadas afectan a la variable endógena (la elección). Como ésta última es una variable que sólo

puede expresarse en términos de probabilidad, la forma de resolver el problema es a través de una función de verosimilitud. Así pues, el investigador maximiza la probabilidad de la muestra observada, entendida como el producto de las probabilidades de elección de cada individuo.

De la expresión general (2.4) surgen diferentes modelos en función del tipo de supuestos que hagamos. La clave radica en el término error que engloba las variables no observadas. El caso más sencillo posible es considerar que los errores distribuyen Gumbel⁹ independiente e idénticamente (iid); esto quiere decir que no hay correlaciones entre las alternativas y la varianza de los errores es idéntica. Esto simplifica enormemente la resolución del problema ya que la expresión (2.4) podrá ser resuelta de forma analítica y se obtiene un modelo logit simple o MNL (ver Ortúzar y Willumsen, 2001).

Sin embargo, este tipo de modelos no permite correlación entre alternativas, siendo este supuesto muy poco realista, especialmente en el caso del transporte donde obviamente hay modos de transporte que forman categorías, por ejemplo, transporte público frente a privado, etc.

Este inconveniente puede superarse utilizando modelos logit jerárquico o anidado (HL), que resuelven el problema de la correlación creando nidos donde se agrupan los modos que puedan estar correlacionados (Williams, 1977; Daly y Zachary, 1978). No obstante este modelo no permite heterocedasticidad ni variaciones en los gustos (Carrasco y Ortúzar, 2002).

Una forma más flexible de modelación es el modelo probit que permite correlación heterocedasticidad y variaciones en los gustos, pero lo hace a costa de incrementar notablemente la complejidad del problema. Los modelos probit resultan de asumir una distribución normal para las perturbaciones permitiendo una matriz de covarianza arbitraria entre alternativas (Daganzo, 1979).

Las dificultades que entrañaba la resolución de los modelos probit impidieron la generalización de su uso. Además, los problemas del MNL han sido superados con la aparición del modelo logit mixto, forma totalmente flexible de modelación cuya resolución práctica, igual que en el caso del probit, es accesible gracias a las técnicas de simulación (Train, 2003).

⁹ La distribución Gumbel es un caso particular de la distribución GEV (*Generalized Extreme Value*): Fréchet, Weibul y Gumbel cuya forma general es (Leadbetter *et al*, 1983):

$$F(x, \mu, \sigma) = e^{-e^{-(x-\mu)/\sigma}}$$

La media de la distribución Gumbel es $\mu + \gamma/\beta$ donde γ es la constante de Euler, cuyo valor es 0,57721; y el parámetro de la distribución β es igual a $\pi / \sqrt{6}\sigma$

A continuación vamos a describir en detalle estos modelos en el mismo orden en el que han sido expuestos. La Tabla 2.2 resume los principales modelos de elección discreta en función de los supuestos realizados en torno al término error.

Tabla 2.2: Tipos de modelos de elección discreta

distribución de las perturbaciones		modelo	estimación
ε_i distribuye iid Gumbel	Solo dos opciones: se plantean diferencias $\varepsilon_{ij}^* = \varepsilon_i - \varepsilon_j$	(diferencia de dos Gumbel= logistica) Logit binario	Máxima verosimilitud
	Múltiples opciones	Logit multinomial	
ε_i distribuye GEV		Logit anidado (caso particular de la familia de los modelos GEV)	
ε_i distribuye normal multivariado		probit	Máxima verosimilitud simulada
ε_i distribuye en dos partes: - perturbaciones iid - distribución elegida por el modelador		β es continuo: Logit mixto β discreto: Modelo de clases latente	

2.1.3 Logit multinomial (MNL)

2.1.3.1 Descripción del modelo

Este modelo es una generalización multinomial del modelo logit binario de Berkson (1944, 1951) cuyo primer desarrollo corresponde, dentro de la biología, a Gurland (1960) y posteriormente y, de forma independiente, a Cox (1966) y Theil (1969).

Para analizarlo será preciso, en primer lugar, derivar las probabilidades de elección para el caso de modelos de elección discreta. Suponiendo que nos enfrentamos a $n > 2$ alternativas y que las utilidades asociadas a cada una incluyen una variable aleatoria $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_n$ cuya distribución acumulativa es $F(\varepsilon_1 \dots \varepsilon_n)$, el modelo de utilidad aleatoria postula que

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj}$$

Así, la probabilidad de que la alternativa i sea elegida será la probabilidad de que i sea mejor que cualquier otra; es decir

$$P_i = P(V_i + \varepsilon_i > V_j + \varepsilon_j \quad \forall i \neq j) = P(\varepsilon_j - \varepsilon_i < V_i - V_j \quad \forall i \neq j)$$

Lo cual es una sucesión de probabilidades independientes, por tanto para una e dada la probabilidad de i sería

$$P_i = \prod_{j=1}^J F(V_i - V_j + \varepsilon) \quad (2.5)$$

siendo F la función de distribución acumulada de ε

Para obtener la probabilidad para cualquier ε , es preciso integrar todos sus valores considerando su función de densidad $f(\varepsilon)$

$$P_j = \int_{-\infty}^{\infty} f(\varepsilon) \prod_i F(V_j - V_i + \varepsilon) d\varepsilon \quad (2.6)$$

McFadden (1973, 1977) demuestra que si F distribuye Gumbel independiente e idéntico (iid), entonces la probabilidad de elección toma la forma del logit:

$$P_j = \frac{\exp \beta V_j}{\sum_i \exp \beta V_i} \quad (2.7)$$

En (2.7), β es un parámetro de escala correspondiente al parámetro de la distribución Gumbel que es igual a $\pi/\sqrt{6}\sigma$, donde σ^2 es la varianza de la distribución (Ortúzar y Willumsen, 2001). Como esta varianza es desconocida, β no puede estimarse; sin embargo, dado que en el modelo sólo interesan las diferencias de utilidad es frecuente normalizar este parámetro igualándolo a uno¹⁰.

Luce (1959) deriva las probabilidades de elección del logit partiendo del supuesto de IAI. Se basa en la idea que las utilidades son determinísticas y el proceso de elección es aleatorio, de donde se sigue que los individuos no siempre eligen lo que más les conviene y que, por tanto no son totalmente racionales. El logit multinomial es un caso particular del modelo de Luce para el que V_j es una función lineal definida por los atributos X_k

Este planteamiento se conoce como elección aleatoria. Otros autores tales como Tversky (1972), Yellott (1977) o Jaibi y Ten Raa, (1991) – citado en Anderson (1999) – han derivado el MNL por diferentes vías, pero partiendo de ese supuesto.

En contraposición al planteamiento de la elección aleatoria se encuentra el enfoque de la utilidad aleatoria que postula que los individuos sí son racionales, pero hay una zona oscura en la información que nos impide conocer todos los componentes de la utilidad que, en consecuencia, es aleatoria para el modelador. Esta es la aproximación econométrica, aunque ambas convergen en el mismo modelo.

¹⁰ Nótese que todos los modelos de utilidad aleatoria contienen parámetros que deben ser normalizados. Véase la discusión de Sillano y Ortúzar (2005)

Finalmente, mientras los economistas hacen el supuesto sobre la función de distribución de las perturbaciones, Luce establece un supuesto sobre la forma de elección en lugar de sobre las perturbaciones, ya que, como se ha señalado, para él la utilidad no es aleatoria.

Dentro de la familia de los modelos de utilidad aleatoria otros autores han propuesto derivaciones alternativas que conducen al logit multinomial (Tahali, 1977; Marschack, 1960; Thurstone, 1927)

2.1.3.2 Características del MNL

- En el modelo logit los parámetros son fijos, esto es, no varían entre los individuos. Como consecuencia no es capaz de reflejar la heterogeneidad en los gustos de los sujetos. ¿Cómo representar entonces la diferencia en la importancia que cada individuo otorga a los atributos que definen las alternativas?

Una posibilidad es introducir los gustos de los individuos a través de variables observadas. Si existe una estructura que represente la heterogeneidad de la población, ésta siempre puede introducirse en el modelo. Por ejemplo, puede introducirse la diferente importancia del parámetro del coste a través del nivel de renta de cada hogar. Esto es lo que se conoce como variación sistemática. Sin embargo, el modelo logit no es capaz de introducir variaciones en los gustos que dependan de variables no observadas (la variación aleatoria).

- Otro problema del modelo logit se deriva del supuesto de IAI al que ya se ha hecho referencia. La forma en la que las cuotas de mercado se ven alteradas ante cambios en los atributos de un modo o introducción de nuevos modos resulta, en muchos casos, claramente irrealista. En efecto, considérese la elasticidad cruzada de la P_{ni} con respecto a un cambio en el atributo z_{nj} de la alternativa j :

$$E_{iz_{nj}} = -\beta_z z_{nj} P_{nj}$$

Obsérvese que esta elasticidad no depende de i . Por tanto, las elasticidades del resto de las alternativas serán idénticas y el logit preverá el mismo cambio porcentual para todas las alternativas. El problema de las IAI y el ejemplo del bus rojo/bus azul¹¹ fue planteado originalmente por Debreu (1960). También Mayberry (1973) y Tversky (1972).

¹¹ Sea un mercado en el que operan dos modos: un autobús rojo y el coche privado, y que ambos se reparten la demanda a partes iguales, esto es, el ratio de las probabilidades de elección $P_b/P_c=1$. Si en estas circunstancias, se introduce un nuevo modo exactamente igual al autobús pero de color azul, el MNL mantendría inalterado ese ratio lo que forzosamente conduciría a un resultado en el que las probabilidades de los tres modos serían todas iguales a 1/3. Sin embargo, en la práctica, esto vendría a significar que el autobús ha pasado a

- En el caso de que se pretenda modelar decisiones tomadas a lo largo del tiempo por los mismos individuos (datos de panel o preferencias declaradas) el modelo logit presenta ciertas limitaciones. Si se mantiene el supuesto de que las elecciones son independientes entre sí, es posible estimar el modelo sin más que añadir la tercera dimensión a las fórmulas usadas. Con todo, el supuesto de no correlación entre observaciones cuando estas pertenecen a un mismo sujeto a lo largo del tiempo resulta, de nuevo, poco realista.
- El cálculo de las elasticidades cruzadas de las probabilidades respecto de las utilidades de las alternativas arroja el siguiente resultado:

$$E_{u_i}^{P_i} = \frac{(1 - P_i)u_i}{\mu}$$

$$E_{u_j}^{P_i} = \frac{P_j u_j}{\mu}$$

Como puede observarse las elasticidades cruzadas son idénticas para todas las alternativas. Esta es una consecuencia del supuesto IAI

2.1.4 Modelos GEV (*Generalized Extreme Values*)

2.1.4.1 Generalidades

Como se ha señalado, uno de los principales problemas del MNL es que no permite correlación entre las alternativas. Este supuesto puede ser violado muchas veces en la práctica ya que hay opciones que pueden compartir características entre así (por ejemplo, es razonable esperar que los modos de transporte público estén correlacionados entre sí).

Una forma de solucionar el problema es utilizar modelos tipo GEV (*Generalized Extreme Value*); ya que éstos permiten correlación entre las alternativas (McFadden, 1978; Koppelman y Sethi, 2000). En el caso del modelo logit, la porción no observada de la utilidad distribuye independientemente y de forma invariante mientras que la GEV es una distribución conjunta que permite la correlación entre las perturbaciones

McFadden (1978b), en el contexto de localización residencial, demuestra que a partir de este tipo de distribución se derivan las probabilidades de elección GEV. A diferencia del probit, se obtiene una expresión que es matemáticamente tratable y que soluciona el problema de la correlación entre alternativas del MNL.

ocupar dos tercios de la partición modal, lo cual es absurdo (ver explicación en Ortúzar y Willumsen, 2001)

Posiblemente el modelo más conocido dentro de la familia GEV es el logit jerárquico (HL), que fue formulado originalmente por Willians (1977) y Daly y Zachary (1978). En este modelo se procede de la siguiente forma: dado un conjunto de opciones, deben identificarse aquellas que se presumen correlacionadas estableciendo subgrupos de opciones (nidos). Dentro de cada nido se aplica un modelo logit simple, pudiendo verificarse la propiedad de la IAI. Así, las alternativas se organizarán en nidos al modo en el que se hace en este esquema para tres modos: bus, metro y auto¹².

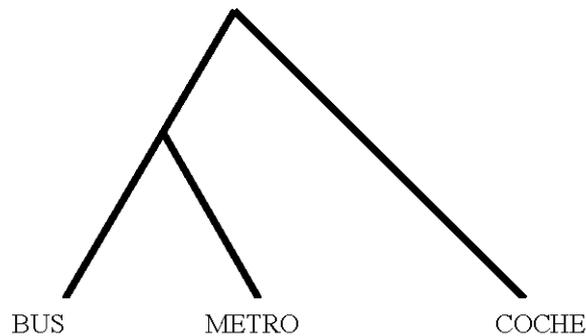


Figura 2.4 Ejemplo de árbol con un nido de transporte público

2.1.4.2 Descripción analítica

Sea un conjunto de J alternativas divididas en K subconjuntos o nidos llamados B_1, B_2, \dots, B_K ; el modelo HL se obtiene suponiendo que las perturbaciones siguen una distribución acumulada de este tipo (Train, 2003):

$$\exp\left(\sum_k \left(\sum_{j \in k} e^{-\varepsilon_{ij} / \phi_k}\right)^{\phi_k}\right) \quad (2.8)$$

En (2.8), el parámetro ϕ , acotado entre cero y uno, mide el grado de independencia de la utilidad no observada a lo largo de las alternativas del nido k . Así, para un mayor ϕ habrá más independencia y una menor correlación entre las alternativas del nido. En el límite, cuando ϕ es igual a uno, las alternativas son totalmente independientes y el modelo se convierte en un logit multinomial de tal modo que (2.8) colapsa en un producto de variables independientes que distribuyen valor extremo.

Cada nido está asociado a una pseudo-utilidad llamada utilidad compuesta. La utilidad compuesta del nido k ¹³ sería:

¹² Para mayores detalles sobre este modelo ver Carrasco y Ortúzar (2002)

¹³ Para simplificar la notación se omite el subíndice n indicando el individuo.

$$W_k = V_k + EMU_k \quad (2.9)$$

Donde V_k es la parte de la utilidad del nido que es común a todas las alternativas donde se incluyen los atributos comunes a todos los miembros del nido. El segundo término simboliza la máxima utilidad esperada (EMU) de las alternativas dentro del nido y se determina como sigue:

$$EMU_k = \frac{1}{\lambda_j} \ln \sum_{j \in K} \exp(\lambda_j V_j)$$

donde se incluyen todos los atributos excepto aquellos que toman el mismo valor para todos los elementos del nido

Dicho en otros términos y siguiendo a Train (2003), la probabilidad de elegir el nido k depende de la utilidad esperada que la persona recibe de ese nido sin importar la alternativa elegida (V_k) más la utilidad extra esperada que recibe al ser capaz de elegir la mejor alternativa del nido (EMU).

La probabilidad de la opción j es el resultado del producto de la probabilidad de elegir esa alternativa dentro del nido k , (ecuación (2.11)) - que puede plantearse como un logit normal del que se ha tenido el cuidado de excluir todas las variables comunes a todos los modos- y la probabilidad de elegir el nido k , donde se utilizará la utilidad compuesta definida en (2.10).

$$P_j = P_{j(k)} \cdot P_k \quad (2.10)$$

La probabilidad del nido k y de la alternativa j dentro del nido se pueden expresar así:

$$P_k = \frac{\exp(\beta W_k)}{\sum_k \exp(\beta W_k)} = \frac{\exp \left[\beta V_k + \frac{\beta}{\lambda_k} \ln \sum_{j \in k} \exp(\lambda_k V_j) \right]}{\sum_k \exp \left[\beta V_k + \frac{\beta}{\lambda_k} \ln \sum_{j \in k} \exp(\lambda_k V_j) \right]}$$

$$P_{j(k)} = \frac{\exp(\lambda_k V_j)}{\sum_{j \in k} \exp(\lambda_k V_j)} \quad (2.11)$$

Los parámetros β y λ_k no son estimables separadamente. Para resolver el problema se normaliza el modelo, fijando uno de los parámetros a uno. Hay que tener en cuenta que ambos parámetros guardan la siguiente relación:

$$\frac{\beta}{\lambda_k} = \sqrt{1 - \text{corr}(U_i, U_j)}$$

de tal manera que, si la correlación es nula ambos se igualan y el modelo colapsa matemáticamente en un logit multinomial.

El cociente β/λ_k es el parámetro ϕ de (2.8). En efecto, como se ha explicado, si este parámetro es uno la independencia entre las alternativas del nido es total.

Suponiendo que el modelo se ha normalizado con $\beta = 1$. Cuando λ_k tiende a infinito $1/\lambda_k$ será cero y, por tanto, el EMU de la utilidad compuesta desaparecerá. Esto es, las diferencias dentro del nido no serán relevantes, el nido en sí colapsará como una única indistinguible alternativa. Por tanto, para la consistencia interna del modelo se debe cumplir que

$$0 < \frac{\beta}{\lambda_k} \leq 1$$

de donde se sigue que la condición para que el modelo no colapse en el MNL es $\beta \leq \lambda_k$ (Williams, 1977).

Los modelos HL pueden contener varios niveles o nidos, lo que implica la estimación de varios ϕ_k . Para que exista coherencia en el modelo completo debe cumplirse que (Ortúzar y Willumsen, 2001):

$$0 < \phi_1 < \phi_2 < \dots < \phi_s < 1$$

siendo ϕ_1 el parámetro del nido más interno y ϕ_s el correspondiente al nido superior dentro del árbol.

2.1.5 Probit

La invención de los modelos probit se atribuye, por lo general a Gaddum (1933) y Bliss (1934)¹⁴ aunque ambos parten de trabajos anteriores en bioestadística

Como se ha explicado, uno de los principales problemas del modelo MNL es que no contempla la correlación entre las alternativas. Por otro lado, los modelos estudiados hasta el momento consideran parámetros fijos que no pueden reflejar la variabilidad no sistemática de los gustos.

Frente a estas limitaciones, el modelo Probit multinomial (MNP) permite cualquier patrón de correlación entre alternativas y de heterogeneidad en los gustos de los sujetos.

La derivación clásica del probit corresponde a Hausman y Wise (1978) y Daganzo (1979). Su obtención pasa por considerar que las perturbaciones distribuyen normal

¹⁴ Que, por otra parte, es el primero en mencionar la expresión “probit” como abreviatura de “probability unit”

multivariada con media cero y matriz de varianzas y covarianzas Σ . Por ejemplo, siguiendo a Maddala (1983) consideremos el caso de tres alternativas:

$$U_1 = V_1 + \varepsilon_1$$

$$U_2 = V_2 + \varepsilon_2$$

$$U_3 = V_3 + \varepsilon_3$$

Los residuos $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3)$ distribuyen como una normal trivariada con media cero y matriz Σ dada por

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{12} & \sigma_2^2 & \sigma_{23} \\ \sigma_{13} & \sigma_{23} & \sigma_3^2 \end{bmatrix}$$

La probabilidad de elegir la alternativa 1 es

$$P_1 = \int_{-\infty}^{\eta_{21}} \int_{-\infty}^{\eta_{31}} f(\eta_{21}, \eta_{31}) d\eta_{21} d\eta_{31}$$

donde $\eta_{21} = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$, $\eta_{31} = \varepsilon_3 - \varepsilon_1$.

Es fácil ver cómo en el caso de cuatro alternativas habría que calcular una integral triple y, en general para estimar P_i es necesario calcular una integral de $J-1$ dimensiones lo que resulta enormemente costoso.

Pese a su temprano desarrollo y su enorme flexibilidad, no se generalizó el uso de MNP debido a los excesivos cálculos computacionales que requería y la extrema complicación de su resolución. Esta flexibilidad, además, se logra también con modelos logit mixto que resultan más fáciles de aplicar.

2.1.6 Logit mixto

2.1.6.1 Descripción del modelo

Logia mixto (ML) es un tipo de modelo más general que permite obviar las restricciones asociadas a los modelos logit y probit (ver, Mc Fadden y Train, 2000; Train, 2001). Además, al tratarse de un modelo flexible ofrece al investigador la posibilidad de adaptarlo a la forma más adecuada a sus datos e introducir cualquier tipo de patrón de correlación entre alternativas o individuos.

Aunque formulado hace décadas¹⁵ – veáse Cardell y Dunbar (1980) y Boyd y Mellman (1980) - la combinación del uso de la simulación (véase la revisión que hace al respecto Stern, 1997), con los progresos alcanzados en la computación facilitó la popularidad del ML.

En los modelos anteriores, excepto en el probit, los parámetros eran fijos, de modo que, al no variar entre individuos, sólo era posible representar la variedad de los gustos mediante la introducción de variables socioeconómicas. Por tanto, la parte no observada de la variación no era tenida en cuenta pudiendo ser la causa de la estimación de parámetros y probabilidades de elección sesgadas (Chamberlain, 1980). En el caso del ML los parámetros varían de individuo a individuo recogiendo toda la estructura de la heterogeneidad, tanto la parte sistemática como la aleatoria. El modelador desconoce β_n y por lo tanto la probabilidad de que el individuo n escoja la opción i es una probabilidad condicionada al valor de β

$$P_{ni} = P_{ni}(\beta) \cdot P(\beta = b) \quad (2.12)$$

La probabilidad condicionada P_{ni} no es más que el logit simple. Como este modelo considera los parámetros fijos, la probabilidad de $\beta=b$ sería uno y (2.12) colapsaría en el modelo logit.

Si β_n fuese una variable discreta, P_{ni} sería la suma de todas las probabilidades condicionadas a cada uno de los valores de β_n ponderados por cada una de las probabilidades $\beta_n=b_m$. Así pues, una versión discreta del ML, conocido también como *Latent class model* vendría expresada por:

$$P_{ni} = \sum_{m=1}^M s_m \cdot P_{ni}(\beta_n)$$

Donde M es el número de valores posibles de β . Dado que el último término representa la P_{ni} tipo logit, es útil escribir esta ecuación de esta otra forma:

$$P_{ni} = \sum_{m=1}^M s_m \cdot \left(\frac{e^{b'_m x_{ni}}}{\sum_j e^{b'_m x_{nj}}} \right) \quad (2.13)$$

Para el caso de una variable β_n continua, el modelo se representa con una integral, donde la probabilidad logit es ponderada con la función de densidad $f(\beta)$.

¹⁵ En realidad, podría admitirse que una primera aplicación de un modelo ML corresponde a Quant y Baumol (1966), pero éstos desarrollan un modelo con coeficientes aleatorios que, como demuestra Manski (1981), puede considerarse como un caso particular del probit.

$$P_{ni} = \int \left(\frac{e^{b'_m x_{ni}}}{\sum_j e^{b'_m x_{ni}}} \right) f(\beta) d\beta \quad (2.14)$$

Una alternativa más sencilla a (2.14) es

$$P_{ni} = \int L_{ni}(\beta) f(\beta) d(\beta) \quad (2.15)$$

Donde $L_{ni}(\beta)$ es la probabilidad logit. Así pues (2.15) puede considerarse la expresión general del ML y puede interpretarse de dos formas: o bien se trata de un modelo con parámetros aleatorios, en cuyo caso el problema está en hallar la distribución de esos parámetros, que es desconocida, o bien es un modelo con componentes de error, donde uno de ellos refleja la variación y correlación entre individuos.

El problema del modelador cambia sustancialmente respecto del logit simple. Si en este caso se trataba de estimar β , en el ML hay que determinar los parámetros que definen la distribución de β , siendo éstos la media b y su varianza W . El tipo de distribución que sigan estos parámetros será elección del modelador.

Los parámetros β se distribuyen de forma continua a lo largo de los individuos de manera que

$$\beta_n = \beta + \Delta z_n + \Gamma v_n \quad (2.16)$$

Donde β es un parámetro común a todos los individuos (la media) y en torno a él se establecen variaciones en función de, en primer lugar, un vector de características propias de cada individuo z_n ponderado por un vector de parámetros Δ a estimar y un término aleatorio definido por un parámetro Γ y una variable aleatoria v_n caracterizada por:

$$E[v_n] = 0$$

$$\text{var}[v_n] = \Sigma = \text{diag}[\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k]$$

donde σ_k es una constante conocida. Si los parámetros siguen una distribución marginalmente normal, entonces se considera $\sigma_k=1$, mientras que si siguen una distribución logística $\sigma_k=\pi^2/3$ Así (2.16) representa la parte sistemática y la aleatoria de la variación inter-individuos.

La varianza de los parámetros β es

$$\Omega = \Gamma \Sigma \Gamma'$$

donde Γ es una matriz triangular desconocida

2.1.6.2 La elección del tipo de distribución

La elección del tipo de distribución es una de las tareas que ofrecen más posibilidades para poder superar los problemas que surjan en la modelación. Las distribuciones más usadas en aplicaciones con ML son la normal, lognormal, triangular y uniforme. Convendría detenerse en una breve descripción de cada una:

- a) Coeficientes fijos: En caso de que el coeficiente sea el mismo para todos los sujetos.
- b) Normal: Una distribución que permite especificar una variación completa de los parámetros.
- c) Log normal: Se trata de una distribución que está acotada por encima de cero, por tanto es útil para aquellos parámetros cuyo signo sea conocido antes de modelar. Este es el caso de la mayoría de las variables en modelos de transporte. En el caso de atributos negativos (como precio o tiempo) los datos son introducidos con el signo opuesto. De esta forma se garantiza que todos los individuos van ofrecer parámetros con el signo correcto, lo cual, de otro modo sería muy difícil. El problema de esta distribución radica en la dificultad de su estimación (Hensher y Greene, 2003); ya que tienden a producir funciones de verosimilitud muy planas en las que, por tanto, resulta difícil alcanzar el máximo.

Por otro lado, el uso de lognormales puede conducir a la obtención de disposiciones a pagar (WTP) extremadamente grandes dado que a medida que crece la varianza del coeficiente del coste se incrementa la porción de la masa acumulada cerca del cero en el denominador, aumentando el valor del ratio (Sillano y Ortúzar, 2005).

- d) Triangular: Se trata de una distribución acotada cuyos valores discurren de $\beta-s$ hasta $\beta+s$ siendo β la media.
- e) Distribución uniforme: los valores son los mismos entre un intervalo de $b-s$ hasta $b+s$, siendo b la media.

En el caso de la distribución log normal, el modelo reporta estimaciones para la media y la varianza del logaritmo de los coeficientes: $\text{Ln } \beta^k \sim N(m,s)$. Por tanto, la mediana, la media y la varianza de β^k serán, respectivamente $\exp(m)$, $\exp(m+s/2)$ y $\exp(2m+s)[\exp(s)-1]$.

Otra posibilidad al alcance del modelador consiste en imponer una restricción a la distribución. La idea consiste en acotar la desviación relacionándola con la media; de esto modo podría evitarse valores de los parámetros ilógicos (Hensher y Greene, 2003).

En el caso del logit simple el modelador debe estimar β_k parámetros de cada una de las variables explicativas. En el ML, dado que estos parámetros pasan a ser variables probabilísticas, su descripción pasa por estimar la media b y la varianza W de cada parámetro. Ambos estadísticos pueden designarse de forma colectiva como θ .

2.1.7 Estimación

2.1.7.1 Estimación por máxima verosimilitud

En los modelos descritos anteriormente, salvo el caso del ML, el proceso de estimación de los parámetros consiste en la maximización de una función de verosimilitud (ver, por ejemplo, Ben-Akiva y Lerman, 1985).

Se estiman los parámetros que maximizan la probabilidad de obtener la muestra observada. Dado que las elecciones Y son independientes entre sí pueden plantearse como una función de distribución conjunta

$$f(Y_1, Y_2 \dots Y_n / \theta) = f(Y_1 / \theta) \cdot f(Y_2 / \theta) \dots f(Y_n / \theta)$$

Por tanto, es posible construir una función de verosimilitud como producto de probabilidad de elección (2.17), considerando la variable auxiliar g_{nj} cuyo valor es cero cuando la alternativa j no es elegida

$$L(\theta) = \prod_{n=1}^N \prod_{j=1}^J (P_{jn})^{g_{nj}} \quad (2.17)$$

$$g_{nj} \begin{cases} 1 & \text{si elige } j \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Resulta más práctico convertir la función (2.17) en un logaritmo, pues lleva al mismo máximo y resulta más fácil de calcular (Ortúzar y Willumsen, 2001):

$$l(\theta) = \log L(\theta) = \sum_n \sum_j (P_{nj})^{g_{nj}} \quad (2.18)$$

La maximización de (2.18) conduce a la obtención de los parámetros θ^* es decir, los β_k de la función de utilidad descrita en (2.3)

2.1.7.2 Estimación de modelos ML

Existen dos formas de estimar θ : clásica (ver, por ejemplo, Revelt y Train, 1998) y bayesiana.

2.1.7.2.1 Estimación clásica

Como hemos señalado, una vez elegido un tipo de distribución, el analista estima θ a partir de (2.15). Sin embargo, esta tarea plantea la dificultad de que (2.15) es una integral indefinida de modo que es necesario recurrir a la simulación (Stern, 1987).

Así pues, el problema se plantearía de la con la siguiente secuencia de pasos:

- 1) Considérese un valor posible de $\beta = \beta^r$
- 2) Calcúlese la probabilidad logit para β^r
- 3) Repítase la operación R veces
- 4) Calcúlese la media de las probabilidades obtenidas:

$$\check{P}_{ni} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R L_{ni}(\beta^r) \quad (2.19)$$

Esta expresión es un estimador insesgado de la verdadera probabilidad P_{ni} . A continuación, los valores así obtenidos pueden introducirse en la función de verosimilitud del modelo, expresada en logaritmos:

$$SLL = \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J d_{nj} L_{nj} \check{P}_{ni} \quad (2.20)$$

En (2.20) d_{ni} toma el valor uno si se trata de la opción que escogió el individuo y cero en caso contrario. En estas condiciones el estimador $\hat{\theta}$ que maximice la verosimilitud de la probabilidad simulada (SLL) es el estimador buscado.

Ahora bien, ¿Cómo se estima $\hat{\theta}$? Existen varios algoritmos de búsqueda del parámetro que maximiza la verosimilitud. En todos los algoritmos se procede a entregar valores iniciales β_0 , que suelen ser los obtenidos en el MNL y añadir valores paso a paso hasta alcanzar el máximo.

Uno de los algoritmos más usados –que, por otra parte es el que se usa en este trabajo– es el de Newton-Raphson que añade el paso descrito a continuación:

$$\beta_{t+1} = \beta_t + (-H_t^{-1})g_t \quad (2.21)$$

donde H es el hessiano de la LL y g_t es su vector gradiente; lo que viene a significar que cada paso es la pendiente de la log verosimilitud dividido por su curvatura, de modo que, al aproximarse al máximo el paso se reduce (Train, 2003). La figura 2.4 representa la función de log-verosimilitud y la búsqueda del máximo. Si la función se encuentra en la parte decreciente de la curva, la expresión (2.21) añade un paso negativo.

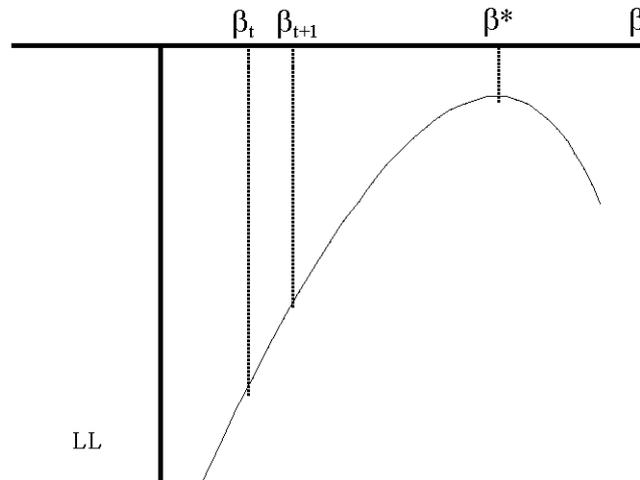


Figura 2.5: Algoritmo Newton-Raphson

2.1.7.2.2 Estimación bayesiana

El procedimiento de estimación bayesiana permite estimar los parámetros del modelo sin necesidad de calcular ninguna probabilidad de elección ni de maximizar una función de verosimilitud, como en caso clásico.

Este tipo de estimación se basa en la combinación de dos fuentes de información:

- a) Información *a priori* conocida por el investigador y que puede proceder de su intuición, de estimaciones anteriores, de la consulta con expertos, de estadísticas o conocimientos adyacentes de las variables relacionadas con el modelo, etc. Esta información se concreta en una formulación apriorística de los parámetros θ del modelo y se expresa a través de la función de distribución $k(\theta)$ con lo que se refleja las probabilidades que a priori el modelador asigna a cada uno de los posibles valores de los parámetros.
- b) Información procedente de una muestra. A través de la muestra se observan las elecciones de los individuos. Llamemos estas elecciones $Y_n = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$. La probabilidad de que estas elecciones sean realizadas es:

$$L(Y/\theta) = P_1 P_2 \dots P_n = \prod_{n=1}^N P(y_n/\theta) \quad (2.22)$$

La idea es mejorar la distribución a priori $k(\theta)$ con la información muestral Y_n de manera que se obtenga, finalmente, una distribución a posteriori $k(\theta|Y)$. La forma de relacionar la distribución a priori con la posteriori puede hacerse a través de la regla de Bayes:

$$P(A/B).P(B) = P(B/A).P(A)$$

Así, aplicado a este caso se obtiene:

$$k(\theta/Y)L(Y) = L(Y/\theta)k(\theta) \quad (2.23)$$

Es decir la distribución posterior (condicionada a las elecciones observadas de los individuos) multiplicada por la probabilidad de obtener esa muestra es igual a la probabilidad de obtener esa muestra condicionada a los parámetros a priori multiplicada por la probabilidad de esos parámetros (distribución a priori).

La probabilidad de la muestra $L(Y)$ se obtiene integrando la probabilidad de Y_n para todos los valores de θ .

$$L(Y) = \int L(Y/\theta)k(\theta)d\theta \quad (2.24)$$

A partir de (2.23) es posible plantear:

$$k(\theta/Y) = \frac{L(Y/\theta)k(\theta)}{L(Y)} \quad (2.25)$$

Por tanto, la distribución a posteriori $k(\theta|Y)$ es proporcional a la distribución a priori $k(\theta)$ ponderada por la probabilidad de que los parámetros θ procedan de las elecciones observadas. Dicho en otros términos y siguiendo a Train (2003) la probabilidad de que los parámetros sean θ teniendo en cuenta los datos de la muestra es proporcional a la probabilidad de que los parámetros sean θ antes de la muestra ponderada por la probabilidad de que esos parámetros resulten de las elecciones observadas.

$$k(\theta/Y) = \alpha L(Y/\theta)k(\theta) \quad (2.26)$$

Dada esta relación, el investigador tratará de estimar θ , que puede aproximarse como la media de la distribución posterior:

$$\bar{\theta} = \int \theta k(\theta)d\theta \quad (2.27)$$

Llegados a este punto la cuestión relevante es preguntarse cómo se puede estimar la media de la distribución posterior, ya que este es el estimador buscado. La forma de hacerlo es mediante simulación siguiendo los siguientes pasos:

- 1) Se toman valores de θ de la distribución posterior: θ^r
- 2) Se calcula la media de los resultados

$$\bar{\theta} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \theta^r$$

Finalmente, para obtener extracciones de la distribución posterior se aplica el procedimiento de Gibbs consistente en los siguientes pasos:

- 1) Se extrae b, W
- 2) Se calcula la distribución condicional de β_n

$$G_n(\beta_n / b, W) = \frac{L_n(\beta_n)N(\beta_n / b, W)}{L_n(b, W)}$$

donde $N(\beta_n / b, W)$ es la distribución normal de β_n , $L_n(\beta_n)$ es la probabilidad de observar las elecciones dado β_n y $L_n(b, W)$ es la probabilidad de observar las elecciones dado b y W .

Los resultados coinciden con la estimación clásica. La diferencia de ambas distribuciones radica en los valores de b y W a partir de los cuales la densidad de β_n es derivada (ver Sillano y Ortúzar, 2005 para una acabada discusión de estos temas).

β_n es para los bayesianos la media de las extracciones de β_n para ese consumidor. De acuerdo con la estimación clásica es la media de la distribución condicional de β_n para el individuo basada en la máxima verosimilitud estimada de la distribución poblacional.

2.1.7.2.3 Comparación de la estimación clásica y la bayesiana

¿Qué forma de estimación es la adecuada? Huber y Train (2001) estudian esta cuestión comparando ambos resultados en un estudio sobre la elección de compañía de electricidad. Estos autores encuentran que en la estimación clásica a veces es difícil localizar el máximo de la función de verosimilitud bajo algunas distribuciones y modelos. En efecto: la función de verosimilitud puede tener un máximo local múltiple y asegurarnos de que el máximo local es el máximo global puede resultar computacionalmente difícil. La maximización puede fallar al encontrar un incremento, incluso cuando el máximo no ha sido alcanzado. Este problema no ocurre cuando se usan distribuciones normales pero puede suceder en el caso de las log-normales.

Otra desventaja de la estimación clásica es la dificultad para estimar un número excesivo de elementos de la matriz de varianzas y covarianzas cuando β_n es grande. En estos casos, se suele restringir la estimación a los elementos de la diagonal principal. Por el contrario, la estimación bayesiana es capaz de determinar la matriz completa sin necesidad de un esfuerzo excesivo. Por otro lado, en el caso de parámetros no identificados, éstos no pueden ser estimados bajo la estimación clásica, pero la aproximación bayesiana puede proporcionar la necesaria identificación gracias a la información del prior.

Sillano y Ortúzar (2005) encuentran que la estimación clásica produce mejores resultados en los parámetros poblacionales mientras que la bayesiana es más poderosa para los parámetros individuales. Destacan, además, las facilidades que ofrece el método bayesiano para estimar log normales, pues no es necesario maximizar ninguna función y, como se ha explicado, este tipo de distribución resulta muy inestable. Finalmente, señalan que los métodos bayesianos ofrecen buenos resultados incluso con pequeñas muestras.

Hasta aquí hemos referido ventajas de la estimación bayesiana, sin embargo, es preciso referirse a la desventaja computacional que supone asumir métodos bayesianos que surge de su necesidad de extracciones de los condicionales posteriores. En el procedimiento clásico pueden elegirse distribuciones alternativas para los coeficientes fácilmente. Incluso puede asumirse que algunos son fijos mientras otros distribuyen. Los cambios en los supuestos sobre las distribuciones son, por el contrario, difíciles de aplicar en el caso de la estimación bayesiana.

Con todo, los resultados son muy parecidos: en términos de coeficientes y varianzas no hay diferencias significativas. El investigador haría bien eligiendo el método más conveniente para sus recursos pudiendo interpretar los resultados por ambos métodos.

2.1.8 Inferencia estadística de los modelos de elección discreta

Antes de concluir este repaso sobre los modelos de elección discreta, es aconsejable repasar los principales estadígrafos que son utilizados para evaluar y comparar modelos en los siguientes capítulos. Se resumen aquí los más importantes (Ortúzar, 1982):

- Función de máxima verosimilitud $l(\theta)$:

Se trata de una función que toma valores negativos porque la verosimilitud es una probabilidad entre cero y uno y el logaritmo de cualquier número entre cero y uno es negativo. El valor de $l(\theta)$ estará tanto más cerca del máximo cuanto más próximo a cero. Al comparar entre diferentes modelos

éste estadígrafo nos indica, sin duda cuál es mejor: el mayor (o menor en términos absolutos)

- Índice ρ^2

Se trata de un índice de la bondad del ajuste que se define como:

$$\rho^2 = 1 - \frac{l(\theta)}{l(0)} \quad (2.28)$$

donde $l(0)$ representa la verosimilitud de un modelo sin parámetros (la verosimilitud del azar). Si coincide con la explicada por el modelo, el índice vale cero, lo que señala el peor ajuste. Por el contrario, ρ^2 igual a uno indicaría un ajuste perfecto.

Sin embargo, para los valores intermedios no hay una interpretación clara, de modo que resulta más útil comparar el modelo con la verosimilitud de un modelo construido solo con constantes $l(C)$ que se corresponden con la partición de mercado.

$$\rho^2 = 1 - \frac{l^*(\theta)}{l^*(C)} \quad (2.29)$$

Este estadístico varía entre cero y uno y es comparable a través de distintas muestras.

- Test t

Dado que los estimadores máximo-verosímiles de los parámetros θ distribuyen asintóticamente Normal es posible construir un test asintótico basado en el siguiente estadístico:

$$t = \frac{\theta_k}{\sqrt{\text{var}(\theta_k)}}$$

Se rechaza la hipótesis nula de que el estimador es cero si t supera Z_{α} , valor crítico de la distribución normal estándar para un nivel de confianza $(1-\alpha)$.

- Test de la razón de la verosimilitud (Ortúzar y Willumsen, 2001)

Cuando se comparan modelos generales con sus versiones restringidas se necesita un estadístico de contraste que señale si la ganancia producida como resultado de introducir más parámetros implica que ese modelo es mejor que el restringido. Así, es posible comparar modelos a pares aplicando el siguiente estadístico:

$$LR = -2 \{l^*(\theta_r) - l^*(\theta)\} \quad (2.30)$$

donde $l^*(\theta_r)$ representa la log-verosimilitud del modelo restringido.

LR distribuye como una χ^2 con r grados de libertad. Si LR es mayor que una χ^2 para un nivel de significatividad α se rechaza la hipótesis nula de que el modelo general es igual que el restringido y los parámetros añadidos explican de forma significativa el modelo.

2.1.9 Conclusiones sobre los modelos de elección discreta

La evolución de los modelos de elección discreta y la acumulación de evidencias al respecto han conducido a la revisión del paradigma de racionalidad que constituía uno de los axiomas de la teoría de la utilidad aleatoria. Esto no cuestiona la validez de las herramientas econométricas utilizadas hasta ahora pero significa la convergencia con el planteamiento de la psicología y constituye un estímulo para ensayar modelos más complejos que emplean diferentes tipos de información.

Por otro lado, los modelos de elección discreta han progresado hacia la búsqueda de estructuras más flexibles que permiten la correlación entre alternativas y reflejan la heterogeneidad de los gustos de los individuos. Esta profundización en lo particular se observa también en el paso de la información agregada hacia la desagregada y de ésta hacia los parámetros individuales. Los avances en la computación y las técnicas de simulación han permitido poner al alcance de la mayor parte de los investigadores, la resolución de modelos ML que, como hemos explicado, superan las limitaciones de los modelos anteriores ofreciendo máxima flexibilidad.

2.2 El valor del tiempo

El modelo clásico del comportamiento del consumidor no puede explicar el caso del transporte ya que no incluye ni el tiempo ni el espacio. Hasta los años 50 se consideraba que lo fundamental era la utilidad, el ingreso y el consumo, entre otras razones porque las sociedades modernas no habían comenzado a asumir el tiempo de ocio como una variable esencial del sistema social.

Becker (1965) fue el primero en poner de manifiesto las debilidades del modelo clásico introduciendo el tiempo en el planteamiento, lo que dio como resultado la aparición del concepto del valor del tiempo. Éste puede definirse como el equivalente monetario de la disminución, en una unidad, del tiempo necesario para realizar una actividad. Cuando este valor se refiere a la percepción individual se habla del valor subjetivo del tiempo (VST).

El VST se calcula como la relación marginal de sustitución (RMS) entre el tiempo y coste de viaje a partir de las funciones de utilidad de los modos de transporte

entre los que el individuo elija. En consecuencia, el valor obtenido es la disposición a pagar para reducir el tiempo de viaje en una unidad.

La teoría parte de dos supuestos fundamentales. En primer lugar considera que las asignaciones de tiempo a diferentes actividades tienen un valor que puede ser medido en dinero. Así por ejemplo, el individuo podría aumentar sus horas de trabajo a cambio del pago de cierto salario, o tomar un medio de transporte más lento y aumentar el tiempo dedicado al viaje si ahorra de esta forma determinada cantidad de dinero.

En segundo lugar, se asume que los individuos eligen la asignación de tiempo que maximiza su utilidad personal, sujeta al hecho de que el tiempo, a diferencia del dinero, no puede ser almacenado y, necesariamente, debe ser transferido a otras actividades.

Revisiones de los modelos sobre el VST pueden encontrarse en Fernández (1992), González (1997), Mackie y Jara-Díaz (2001) y Jiang y Morikawa (2004). A continuación se describe la evolución de este tipo de modelos partiendo de Becker hasta las propuestas más recientes y sus consecuencias para los planteamientos prácticos del problema.

2.2.1 *Revisión de los modelos de asignación temporal*

2.2.1.1 *La introducción del tiempo en el modelo: Becker*

Como se ha señalado, el primer trabajo importante en este campo fue el presentado por Becker (1965) que propone un modelo basado en la incorporación de tiempo donde la utilidad depende del consumo de bienes finales Z_i que no pueden comprarse y cuya producción requiere la adquisición de otros bienes, tales como el tiempo, T_i y los ingredientes X_i . Estos últimos son los bienes de mercado.

Por tanto, Becker contempla el tiempo y los bienes de mercado como insumos responsables de la producción de los bienes finales que son los que están directamente conectados con la utilidad¹⁶.

$$Z_i = F_i(X_i, T_i)$$

donde T_i es un vector que se refiere a diferentes momentos de tiempo. Los individuos son simultáneamente consumidores y productores y combinan el tiempo

¹⁶ Por ejemplo, el individuo compra los ingredientes de una comida, introduce parte de su tiempo en la preparación y obtiene un bien final que son la nutrición y el placer derivados de la degustación.

y los bienes de mercado a través de una función de producción familiar cuyo producto es Z_i . Así, tenemos que el modelo tiene la siguiente función objetivo:

$$\text{Max}U = U(Z_1, \dots, Z_p) = U(X_1, \dots, X_p; T_1, \dots, T_p) \quad (2.31)$$

Y dos restricciones: de coste (2.32) y de tiempo (2.33):

$$\sum X_i Y_i = I_f + T_w w \quad (2.32)$$

$$\sum_i T_i = T_c = T - T_w \quad (2.33)$$

donde I_f corresponde al ingreso patrimonial o fijo, T_w es el tiempo dedicado a trabajar, w el salario-hora, T_c el vector de tiempo necesario para obtener Z_i , y T el tiempo total disponible. Becker señala que el tiempo puede convertirse en bienes usando menos tiempo de consumo y más de trabajo. Así se tiene que:

$$T_i = t_i Z_i \quad (2.34)$$

$$X_i = b_i Z_i \quad (2.35)$$

donde t_i y b_i constituyen los requerimientos de tiempo e ingredientes para fabricar una unidad de Z_i . Sustituyendo en (2.34) se llega a:

$$\sum (p_i b_i + t_i w) Z_i = I_f + T w$$

Cuya interpretación es la siguiente: $(p_i b_i + t_i w)$ es el coste generalizado de los bienes finales Z_i . El primer término representa el precio en términos de ingredientes, siendo p_i el precio de éstos y b_i los requerimientos necesarios por unidad de Z_i ; el segundo es el coste en términos de tiempo, siendo t_i el tiempo necesario por unidad de output y w una aproximación al precio de ese tiempo. La idea básica de este planteamiento es que una reasignación de tiempo implica una simultánea reasignación de bienes y utilidades.

Por tanto, la primera definición del VST establece que éste es el valor monetario que el sujeto pierde por no trabajar, su coste de oportunidad, y lo relaciona con el salario-hora que, desde entonces, constituye la base de la discusión sobre el VST.

Johnson (1966) considera que el tiempo de trabajo debe incluirse en la función de utilidad ya que durante el trabajo el individuo experimenta placer o desagrado. Por tanto una definición más completa del VST añadiría al coste de oportunidad del tiempo, la pérdida del agrado o desagrado que produce el trabajo. Dicho en otros términos: el tiempo tiene un valor como recurso dado que puede convertirse en dinero mediante el trabajo (Valor del tiempo como recurso, VTR en adelante) y, además, hay que añadir el valor de la satisfacción de no realizar ese trabajo.

Oort (1969) asume la división del tiempo en esas dos categorías –ocio y trabajo– pero propone la inclusión de una tercera: el tiempo de transporte. De este modo, el VST del tiempo ahorrado en transporte sería la suma de dos componentes: el VTR y el valor del tiempo de transporte, que representaría la desutilidad del viaje ahorrada por las reducciones de tiempo.

2.2.1.2 De Serpa y la distinción entre diferentes actividades

De Serpa (1971) propuso un modelo en el cual se salvan algunos de los defectos del modelo de Becker, considerando que, tanto el tiempo de consumo como la cantidad consumida afectan a la utilidad. Esto permite que el uso del tiempo sea visto de forma diferente, dependiendo de las actividades a las cuales se dedica.

A diferencia de Becker, en la función de utilidad se incluye el tiempo de diferentes actividades t_j y, por otro lado, el tiempo dedicado a trabajar t_w . De este modo, el individuo toma dos tipos de decisiones: en primer lugar determina la cantidad óptima a consumir, en segundo lugar, elige el tiempo de trabajo y el dedicado a otros quehaceres distintos del trabajo que maximizan su utilidad. Para ello tendrá en cuenta cuatro restricciones:

$$\begin{aligned} & \text{Max} U(X, t_i, t_w) \\ & t_w \omega + Y \geq PX \dots (\lambda) \end{aligned} \quad (2.36)$$

$$T \geq t_w + \sum_i t_i \dots (\mu) \quad (2.37)$$

$$t_i \geq a_i x_i \dots (\psi_i) \quad (2.38)$$

$$t_w \geq t_w^0 \dots (\varphi) \quad (2.39)$$

La expresión (2.36) es la restricción de recursos monetarios donde $t_w \omega$ indica el ingreso derivado del trabajo e Y el ingreso fijo; PX expresa el gasto en consumo de bienes, donde p es el vector de precios de los productos X ; El primer miembro señala el total de ingresos obtenidos por el consumidor que forzosamente ha de ser igual o mayor que el gasto en bienes y servicios. Finalmente λ simboliza la utilidad marginal (UM) del ingreso.

La restricción (2.37) se refiere al tiempo: T expresa el total de tiempo disponible que no puede exceder de la suma total de los tiempos dedicados a cada actividad más el tiempo de trabajo. A esta restricción se le asocia μ como UM del tiempo.

De Serpa considera además que cada actividad precisa de un tiempo mínimo de consumo introduciendo así la restricción (2.38). En consecuencia, existirán dos tipos de actividades: aquellas en las que el consumidor gasta más tiempo del mínimo imprescindible, que serán las de ocio; y aquellas otras en las que, en realidad, se ve obligado a gastar más tiempo del que desearía. En este segundo caso consumirá siempre el tiempo mínimo necesario.

Dicho de otra forma: para las primeras, actividades agradables o de ocio, la restricción (2.38) no es activa, en el sentido de que siempre se dispondrá de más tiempo del indispensable; en cambio para las segundas, el individuo se situará en el límite y la restricción será activa, esto es, se transformará en una igualdad. En (2.38), ψ_i representa la UM resultante de la reducción del tiempo necesario para realizar una actividad. En el caso del ocio esta variable será nula.

De Serpa establece a continuación el supuesto de que el individuo tiene libertad para elegir libremente la cantidad de tiempo dedicada al trabajo. Por tanto, el consumidor distribuirá su tiempo entre trabajo y ocio de tal modo que el valor marginal de una unidad dedicada a ambas actividades sea la misma.

No obstante, esta suposición de flexibilidad infinita en la elección del tiempo de trabajo es poco realista, por lo que Serpa impone la restricción (2.39) que indica la imposibilidad de trabajar una cantidad mínima de horas siendo φ la UM de reducir los requerimientos mínimos de tiempo del trabajo.

Las condiciones de primer grado del problema son las siguientes

$$\frac{\partial U}{\partial x_i} = \lambda p_i + \psi_i a_i \quad (2.40)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t_i} = \mu - \psi_i \quad (2.41)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t_w} = \mu - \lambda w - \varphi \quad (2.42)$$

De (2.41) se tiene que:

$$\psi_i = \mu - \frac{\partial U}{\partial t_i} \quad (2.43)$$

La interpretación de (2.43) es la siguiente: cuando se libera una unidad de tiempo de transporte se obtiene, por una parte, una cantidad de tiempo que tiene valor en sí misma puesto que puede invertirse en otras actividades, esto viene representado por la UM del tiempo, μ .

Además de esto, y, sin necesidad de transferir tiempo, el viaje no suele ser una actividad placentera por lo que la utilidad que proporciona es negativa ($\partial U / \partial t_i < 0$). En definitiva, el segundo término de (2.43) expresa la desutilidad que el individuo podría evitar al no tener que usar esa unidad de tiempo viajando. Es por ello que su contribución a la UM del tiempo es positiva.

El cociente (2.44) corresponde a la tasa marginal de sustitución entre tiempo gastado en la actividad i y el ingreso y , por lo tanto, representa la propensión del individuo a pagar por disminuir en una unidad de tiempo en esa actividad. Éste es el valor del tiempo de esa actividad.

$$VT_i = \frac{\psi_i}{\lambda} = \frac{\mu}{\lambda} - \frac{\partial u / \partial t_i}{\lambda} \quad (2.44)$$

Para el caso de actividades de ocio el valor de (2.44) es cero, pues nadie está dispuesto a pagar dinero por disminuir su tiempo de ocio. En el resto de los casos aparecen dos términos, el primero refleja el valor del tiempo como recurso (VTR) que siempre será el mismo e igual al cociente μ/λ ; El segundo término expresa el valor monetario de evitar el desagrado del viaje, y está asociado a las condiciones de éste. Este segundo término es lo que De Serpa designaba como *Value of time as a commodity* (VTC). Naturalmente, la contribución de este elemento al valor del tiempo de viaje (VTT) será tanto menor cuanto más cómodo, seguro y agradable sea el modo de transporte elegido. Por tanto el valor de de los ahorros de tiempo en transporte (VTT) sería la suma del VTR y el VTC.

En 1972, Evans propuso un modelo en el cual la única argumentación de la función de utilidad es la asignación de tiempo a las diferentes actividades. El consumidor elige la mejor combinación de actividades sujeto a las restricciones monetarias y de tiempo. La función de utilidad para el individuo es expresada como sigue:

$$U = U(T_i)$$

donde T_i denota el número de unidades de tiempo que el individuo emplea en la actividad i . Las restricciones en este caso son:

$$T = \sum_i T_i \dots \{ \mu \}$$

$$\sum_i r_i t_i = 0 \dots \{ \lambda \}$$

donde el coste por hora r puede ser positivo si el individuo paga por esa actividad o negativa si recibe dinero (por ejemplo, en el trabajo); y, naturalmente, será igual a cero si la actividad es libre. Si maximizamos la función sujeta a las restricciones obtenemos:

$$U_i = \mu + \lambda r_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2.45)$$

Así pues, el tiempo empleado en cada actividad depende tanto de la utilidad derivada de ésta, como del precio que el individuo paga/recibe. Resolviendo (2.45) para μ se puede observar que si el individuo asigna el tiempo de forma óptima entre las diferentes actividades, un pequeño incremento del tiempo empleado en

una actividad junto con un decremento equivalente en el tiempo empleado en otra le dejarían igual.

2.2.1.3 El transporte como bien discreto y la resolución secuencial del problema

La aportación de Train y McFadden (1978) consistió en incorporar el transporte como un bien de elección discreta; diferenciándose así del resto de los bienes que se suponen continuos. En su modelo la función de utilidad tiene dos variables: L , que representa el tiempo de ocio y G que es el gasto en el consumo de un bien generalizado X .

$$\text{Max}U(G,L)$$

$$G = Y + \omega t_w - r_i \quad (2.46)$$

$$L = T - t_w - t_i \quad (2.47)$$

La restricción (2.46) indica que el gasto total en el bien generalizado x debe ser igual al ingreso total menos el dinero invertido en transporte r_i . El ingreso total se descompone, como siempre, en patrimonial y laboral. Por otro lado, (2.47) establece que el tiempo de ocio se obtiene tras restar al tiempo disponible T las horas de trabajo t_w y el tiempo en transporte t_i . En este contexto, las variables de decisión son t_w y el modo de transporte (definido por los pares de valores r_i, t_i). De este modo, la situación se resuelve en dos pasos:

1. El sujeto optimiza el nivel de consumo de x ; lo que significa determinar un número óptimo de horas trabajadas. Se supone que esta decisión para un modo de transporte dado; lo que quiere decir, para todo i .
2. Dado t_w óptimo, el individuo selecciona el modo de transporte que maximiza su utilidad. Así, el medio de transporte elegido será aquel para el que $U_j > U_i$.

En el primer nivel sólo hay una variable de decisión que es t_w . Así, tomando la función objetivo y derivando respecto al tiempo de trabajo:

$$\frac{\partial U_i}{\partial G_i} \frac{\partial G_i}{\partial t_w} + \frac{\partial U_i}{\partial L_i} \frac{\partial L_i}{\partial t_w}$$

Sin embargo, de (2.46) y (2.47) se sabe que $\partial G_i / \partial t_w = \omega$ y $\partial L_i / \partial t_w = -1$. Luego entonces,

$$\frac{\partial U_i}{\partial G_i} \omega - \frac{\partial U_i}{\partial L_i} = 0$$

de donde, $w = (\partial U_i / \partial L_i) / (\partial U_i / \partial G_i) = VST$, ya que, como es sabido, el numerador y denominador representan la UM del tiempo y la renta respectivamente.

$$VST = \frac{\partial U_i / \partial L_i}{\partial U_i / \partial G_i} = \omega$$

Se observa así cómo Train y McFadden llegan a la misma conclusión que De Serpa. Esto es debido a que ambos modelos parten del supuesto de que el consumidor elige libremente cómo distribuir su tiempo; esto es, que el tiempo de trabajo es exógeno. A continuación, Train y McFadden ofrecen una solución al problema de la especificación de la función de utilidad usando la conocida forma Cobb-Douglas:

$$U = \alpha G^{1-\beta} L^\beta$$

Donde β , cuyo valor se encuentra entre cero y uno, indica la mayor o menor preferencia por el ocio respecto del consumo. Así $\beta=1$ señalará la mayor preferencia posible por el ocio. El paso siguiente consistirá en completar este planteamiento con las restricciones y resolver usando el procedimiento secuencial descrito; de donde se obtendrá, en primer lugar, el número óptimo de horas a trabajar y, una vez sustituido el resultado en la función de utilidad, la función indirecta de utilidad que tendrá la forma que se ofrece a continuación:

$$V_i = K - c(\omega^{-\beta} r_i - \omega^{1-\beta} t_i)$$

Aquí, K y c son constantes. Puesto que el consumidor elige el modo i tal que $V_i > V_j$, se eliminan los términos irrelevantes en la comparación y se obtiene la función de utilidad modal (Jara Díaz, 1987) para dos casos: preferencia por el ocio (2.48) y preferencia por el gasto (2.49).

$$V_i = -\omega t_i - r_i \dots (\beta = 0) \quad (2.48)$$

$$V_i = -r_i \omega^{-1} + t_i \dots (\beta = 1) \quad (2.49)$$

En el primer caso el sujeto valora el consumo, por lo que querrá gastar lo menos posible en el viaje. Es por ello que el tiempo viene ponderado por el salario. En el segundo caso la mayor importancia relativa del ocio hace que valore más el tiempo. Esto explica que la tarifa importe menos y vaya ponderada por la inversa del salario.

2.2.1.4 Bates y Roberts: el tiempo de trabajo es exógeno

En 1986, Bates y Roberts, basándose en los trabajos de De Serpa (1971) y Train y McFadden (1978), presentaron un modelo más realista que suprime la suposición

de que el individuo puede elegir libremente su tiempo de trabajo. Por este motivo, t_w desaparece del planteamiento del problema: el ingreso total es un dato fijo.

$$U(x, q, t_i, \dots) \quad (2.50)$$

$$Y = px + \sum_i \delta_i c_i \dots (\lambda) \quad (2.51)$$

$$T = q + \sum_i \delta_i t_i \dots (\mu) \quad (2.52)$$

$$t_i \geq t_i^0 \dots (\psi) \quad (2.53)$$

Donde x es el consumo de un bien generalizado, q es el tiempo disponible después de las necesidades biológicas básicas y del tiempo de trabajo; finalmente, t es el tiempo de transporte. El planteamiento se completa con las restricciones de ingreso (2.51), tiempo (2.52) y tiempo mínimo de transporte (2.53). Naturalmente, λ , μ y ψ representan la UM del ingreso, el tiempo y el tiempo de viaje respectivamente.

Las condiciones de primer orden para el problema son:

$$\frac{\partial U_i}{\partial x} = \lambda p \quad (2.54)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial q} = \lambda p \quad (2.55)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t_i} = \mu - \psi_i \quad (2.56)$$

Para resolver el problema de la especificación de la función de utilidad, Bates y Roberts hacen una aproximación lineal:

$$U \approx a + \frac{\partial U}{\partial x} x + \frac{\partial U}{\partial q} q + \sum_i \frac{\partial U}{\partial t_i} t_i$$

A partir de la cual, se llega a la siguiente expresión:

$$U_i \approx a + \lambda px + \mu q + (\mu - \psi_i) t_i \quad (2.57)$$

Eliminando los términos irrelevantes en la comparación se obtiene:

$$U_i = -\lambda c_i - \psi_i t_i \quad (2.58)$$

que es una función de utilidad modal semejante a la de Train y McFadden pero sin el salario-hora; lo que es debido a que el tiempo de trabajo ha sido eliminado del campo de decisión del sujeto.

La disposición a pagar por reducir tiempo de la actividad i vendrá dada por:

$$VT_i = \frac{\partial U_i / \partial t_i}{\partial U_i / \partial c_i} = \frac{\psi_i}{\lambda}$$

Que podría representar el VTT. Para las actividades de ocio esta expresión será cero

Partiendo del mismo supuesto de Bates y Roberts en cuanto a considerar como exógena la variable tiempo de trabajo, Jara Díaz *et al.* (1988) desarrollan un nuevo modelo introduciendo una definición de la función de utilidad similar a la usada por Train y McFadden. A partir de este planteamiento, el rol del salario en la función de utilidad es reemplazado por la tasa de gasto g , definida como el cociente entre el ingreso y el tiempo de ocio disponible

2.2.1.5 La justificación teórica de la heterogeneidad: Jiang y Morikawa (2004)

Jiang y Morikawa (2004) presentan un modelo que fusiona las virtudes de De Serpa (1971) y Evans (1972) creando un marco teórico que permite justificar la amplísima variedad de VST encontrados en la literatura.

En su modelo parten del supuesto de que la mayoría del tiempo de trabajo es fijo y, por lo tanto no forma parte de la función de utilidad. Suponen, además que el precio de los modos de transporte guardará relación con el tiempo del mismo, dado que es previsible que los largos trayectos, por ejemplo, sean más caros.

Finalmente, la función de utilidad integrará tres componentes: el gasto de otros bienes distintos del transporte (P_i), el tiempo dedicado al ocio (T_i) y el tiempo de transporte (t_i).

El problema queda planteado como sigue:

$$U = U(P_i, t_i, T_i) \quad (2.59)$$

$$t_i + t_w + T_i = T \quad (2.59)$$

$$P_i + P_i(t_i) = \omega t_w \quad (2.60)$$

$$t_i \geq \bar{t}_i \quad (2.61)$$

Donde (2.59) y (2.60) representan la restricción presupuestaria y de tiempo respectivamente. Así mismo se incluye una restricción del tipo De Serpa que representa el tiempo mínimo necesario para el transporte (2.61).

La restricción de tiempo está asociada con la UM del tiempo, μ . La restricción presupuestaria se asocia a la UM del coste λ y, finalmente k_i representaría la UM de reducir los requerimientos de tiempo del modo i .

Del desarrollo de este planteamiento se obtienen estas conclusiones:

$$VTR = \frac{\mu}{\lambda} = \frac{1}{\lambda} \frac{\partial u}{\partial t_i}$$

$$VTT = \frac{k_i}{\lambda} = \frac{\mu}{\lambda} - \frac{1}{\lambda} \frac{\partial u}{\partial t_i} + \rho_i \quad (2.62)$$

La primera expresión corresponde al valor del tiempo como recurso donde no hay ninguna relación con el salario. Por otro lado, (2.62) es el valor del tiempo ahorrado en transporte que consta de tres términos: el VTR, el VTC (valor del tiempo de la actividad en sí misma que señala el agrado o desagrado del mismo) y ρ_i que indica los cambios en el coste de viaje causados por el cambio de una unidad de tiempo.

Se tiene así tres casos posibles en función del valor de ρ_i :

- a. $\rho_i = 0$. Indica que el tiempo y el coste de transporte son independientes. Puede ser el caso de viajes al trabajo donde los empleadores sufragan parte o la totalidad del coste.
- b. $\rho_i < 0$ Que sería el caso normal en el caso del transporte.
- c. $\rho_i > 0$ representa el efecto del cambio de tiempo dentro del mismo modo.

En todos los casos, un incremento del tiempo de transporte conduce a un aumento del VTR pero con intensidades diferentes, mientras que el VTT puede crecer o decrecer dependiendo de la percepción del sujeto sobre los ahorros de tiempo o la pérdida de tiempo de ocio.

Cada componente del VTTS varía de forma diferente. Los cambios en el VTT están relacionados con los cambios de la UM del viaje así como de su relación con el cambio de la UM del tiempo de ocio y, además, de las percepciones individuales del tiempo y el dinero.

Por tanto las diferencias en el caso del viaje y de percepciones introducen una amplia variación en el VTTS que justifica teóricamente la extraordinaria heterogeneidad de VST encontrados en los estudios empíricos.

2.2.2 Conclusiones sobre el valor del tiempo

Partiendo del modelo de Becker y del protagonismo inicial del salario en la determinación del VST, los modelos han ido evolucionando incluyendo supuestos más realistas tales como, eliminar el supuesto de la libre elección del tiempo de trabajo, distinguir entre actividades de ocio, trabajo y transporte e incluir restricciones de tiempo mínimo en las actividades.

Los planteamientos teóricos han llegado a cierto nivel de madurez en el que el valor del tiempo se expresa como suma de varios componentes cuyo comportamiento es específico para cada contexto y sujeto de tal modo que podría explicar la amplísima variedad de VST encontrados en los estudios empíricos.

En el caso del transporte, la mayoría de los estudios deducen tres componentes en el VTT: estos son el VTR, VTC y un tercer componente relativo al contexto del sujeto. El VTC se refiere al modo, a su confort y características. El tercer componente se relaciona con el contexto en el que se realiza el viaje y las percepciones que los diferentes sujetos tienen del mismo.

El VTR podría coincidir con el salario si el sujeto eligiese el tiempo de trabajo, pero esto no sucedería con el VTT que debe ser forzosamente superior salvo en el caso de trabajadores del transporte dado que la propia actividad de transporte constituye su trabajo.

2.3 Conclusiones sobre los fundamentos teóricos

En este capítulo se ha revisado el estado del arte sobre los modelos de elección discreta así como los principales modelos que analizan el VST. En la primera parte se han explicado los modelos de elección discreta describiendo su evolución desde los más simples, con dos alternativas de elección e individuos iguales, a los más complejos con J alternativas y heterogeneidad individual.

Dentro de los modelos de elección discreta resultan especialmente interesantes los modelos MNL; HL y ML. Los dos primeros fueron, durante más de 25 años, los más populares, debido a la facilidad de su estimación y aplicación; el último, más flexible y complejo, se ha convertido recientemente en el modelo favorito debido al auge de la simulación y a la disponibilidad de software adecuado para estimarlo.

En esta tesis doctoral se van a estimar las probabilidades de elección de los modos a partir de dichos modelos y, además, se usarán los resultados para calcular el VST, las elasticidades y establecer una predicción sobre los cambios sobrevenidos en el mercado analizado.

Por otro lado, en este capítulo se han resumido las principales contribuciones sobre el VST que sirven de marco teórico para plantear las estimaciones del VST que se

realizarán más adelante, a partir de los coeficientes estimados en los modelos referidos anteriormente.

3 Análisis de datos y estudio de las percepciones de los tiempos de viaje

Antes de iniciar la modelación de las elecciones conviene analizar si existe algún patrón que permita explicar las percepciones del tiempo de viaje de los sujetos ya que esas percepciones serán las que finalmente determinen sus decisiones. Igualmente, resulta interesante estudiar las razones que determinan el tiempo de espera planeado ¿Qué aspectos del viaje son relevantes en los trayectos interurbanos? ¿Cómo perciben el tiempo los diferentes grupos de hombres y mujeres? ¿Es posible explicar el tiempo de espera a partir de los rasgos de los individuos?

El objetivo de este capítulo es múltiple: por un lado se pretende describir someramente la encuesta y cómo a partir de esa encuesta se calcularon las variables que posteriormente entraron en los modelos. Por otro lado, se realiza un análisis de los datos obtenidos, sin entrar en la modelación propiamente dicha. Posteriormente se estudia la relación entre las percepciones de los tiempos de viaje y los valores reales y se trata de buscar una estructura para el error. Finalmente, se analiza con detalle la forma en que se consultó sobre los tiempos de espera y cómo ésta afectó a los resultados obtenidos.

3.1 La encuesta

Se trata de una encuesta de preferencias reveladas compuesta por 24 preguntas y dividida en tres partes (ver encuesta completa en el anexo 7.1):

- 1) Preguntas relacionadas con el viaje actual:
 - a) Origen y destino.
 - b) Frecuencia del viaje.
 - c) Motivo del viaje.
 - d) Número de viajeros (si viaja acompañado)
 - e) Precio pagado.
 - f) Descripción detallada del acceso del punto de origen hasta el aeropuerto/ puerto/ estación del jetfoil.

- g) Descripción detallada del egreso¹⁷ desde el aeropuerto/puerto/estación de jetfoil hasta el punto de destino final.
 - h) Tiempo de espera.
 - f) Percepción del tiempo de viaje del modo elegido
- 2) Preguntas sobre los modos no elegidos:
- a) Percepciones de tiempos de viaje y costes de los modos alternativos así como relativas a su vehículo (si lo tiene).
 - b) ¿Pensó en viajar en otro modo?
 - c) Razones para rechazar los otros modos.
- 3) Preguntas sobre el encuestado: edad, sexo, composición del hogar y nivel de renta dividido en cinco intervalos

Las preguntas de la primera parte tienen por objeto conocer la información básica sobre el viaje realizado en el modo elegido. En la segunda parte se exploran las percepciones del sujeto sobre los otros modos: costes y tiempos de viaje, así como el modo de acceso que hubiesen elegido. La pregunta sobre el rechazo trata de estudiar la disponibilidad de los modos. En esta investigación no todos los individuos tienen disponibles todas las alternativas: en primer lugar, los sujetos con coche solamente tienen la opción de los dos ferrys; para el resto de los viajeros se supone que todos los modos están disponibles excepto que éstos sean rechazados por razones distintas a las consideradas en la modelación.

Así, se tuvieron en cuenta motivos tales como el mareo, para el caso de los barcos y el miedo al avión; estos eran aspectos bastante comunes y que lógicamente invalidaban la disponibilidad de esos modos. Se constató la presencia de un número significativo de pasajeros cautivos debido a estas razones; éstos fueron eliminados de la muestra de calibración.

3.2 Descripción de las variables y otros datos sobre la encuesta

3.2.1 Datos sobre la encuesta y su depuración

Los datos proceden de varias encuestas realizadas entre julio de 2002 y marzo de 2003 a los pasajeros del trayecto Gran Canaria-Tenerife en los dos sentidos; sin embargo, en el sentido Tenerife- Gran Canaria sólo fue posible encuestar en los ferrys debido a restricciones presupuestarias. El número total de pasajeros

¹⁷ El DRAE define la palabra “egreso” como “Salida. Partida de descargo”. En esta tesis y, en lo sucesivo, haremos un uso particular de la palabra egreso, considerando que se refiere al viaje realizado desde una estación de destino (puerto o aeropuerto) al punto de destino final. A diferencia del acceso que describe el viaje desde el punto de origen a las estaciones de partida (puerto o aeropuerto).

encuestados fue de 1031 pero de estos se descartaron aproximadamente el 60% por las siguientes causas:

- Se trata de viajeros con el billete pagado por su empresa, por la administración (caso de viajes por razones médicas, por ejemplo) o por una federación deportiva. En estos casos se consideró que el individuo no decidía el modo de transporte o que, al menos, el precio no influía en su decisión.
- Viajan en coche, dado que este tipo de observaciones debe analizarse en un modelo aparte donde compitan los dos ferrys.
- Menores de edad no acompañados (se supone que no eligieron el modo).
- Orígenes y destinos desconocidos o imprecisos.
- Viajan fuera de la ruta objeto de estudio (a otras islas o fuera del archipiélago).
- Otras razones: insuficiente información, falta de datos socioeconómicos, cautivos de algún modo o proporcionan información incompleta o incongruente.

Las encuestas de los ferrys se realizaron durante el trayecto, mientras que las del aeropuerto y el jetfoil se hicieron en la sala de embarque de las terminales. Esta circunstancia, como se comentará más adelante, no resulta inocua para el resultado pero resultó inevitable dadas las restricciones presupuestarias y las condiciones impuestas por las empresas afectadas.

3.2.2 *Tratamiento de los viajes en grupo*

Los viajes en grupo se trataron de la forma señalada en Ortúzar (2000a) considerando dos posibilidades: grupos que toman las decisiones conjuntamente y grupos en los cuales las decisiones son tomadas por los miembros pagadores. Dadas las características de la encuesta no es posible determinar, dentro de los grupos compuestos por adultos, si el entrevistado era un miembro pagador o no. Por esta razón, en los viajes de grupos de adultos se asumió que el sujeto pagaba su billete y su tratamiento no difería de cualquier otro viajero solo. Sin embargo, en los viajes de adultos acompañados de niños está claro que se trata de un grupo compacto en el que los adultos deciden y pagan.

Sea N el número de miembros del grupo, n el número de individuos pagadores dentro de ese grupo, C los costes de viaje en automóvil, F las tarifas del transporte público y t el tiempo de viaje de todos los modos; entonces se tiene que:

- En el caso del viaje en coche, C se introduce en la función de utilidad dividiendo el coste entre el número de pagadores.
- Para los viajes en autobús, avión, ferry, jetfoil y, en general los transportes públicos es necesario multiplicar F por el número de miembros.
- Para todos los modos, el tiempo de viaje debe multiplicarse por el número

de miembros.

El tiempo, en la función de utilidad se introduce de la siguiente forma:

$$\theta_t + \alpha \theta_t \frac{(N-n)}{n} \quad (3.1)$$

donde θ_t es el coeficiente del tiempo. Así, (3.1) supone que el tiempo es valorado de diferente forma por los miembros no pagadores respecto de los pagadores. Ahora bien, a partir de (3.1) puede inferirse que

$$\theta_t \left(1 + \alpha \frac{(N-n)}{n} \right) \quad (3.2)$$

Donde α es un ponderador ($0 < \alpha < 1$) de la sensibilidad del grupo al tiempo. Si consideramos que α es cero, (3.2) colapsa en θ_t . Dado que el grupo de no pagadores está compuesto por niños, es natural suponer que $\alpha < 1$. En nuestro caso, la log-verosimilitud de los modelos mejoraba reduciendo α hasta 0,7 que fue el valor finalmente introducido. En todo caso es preciso señalar que solamente se registraron 23 grupos con niños en la muestra finalmente utilizada.

3.2.3 Las variables del modelo

Las variables utilizadas en los modelos fueron las siguientes:

a) Tiempos de acceso y egreso

Además de las mediciones hechas por el modelador, se consideraron también los tiempos de acceso y egreso percibidos por el sujeto; si bien éstos no entraron en la modelación principal, se usaron para los modelos desarrollados en este capítulo.

Para los desplazamientos en coche privado y taxi se midieron las distancias de cada uno de los viajes, usando el programa Autocad, teniendo en cuenta las direcciones de las calles para los trayectos urbanos. A estas distancias se les aplicó una velocidad media recogida a partir de las mediciones de velocidad media del Cabildo Insular de Tenerife y de Gran Canaria, que depende del tipo de vía, día de la semana y hora. Así, se establecieron dos horas punta y una hora valle. Las vías, a su vez se desglosaron en cinco tipos:

- Trayectos urbanos (calles reticulares). A este tipo de vías se les asignó la velocidad más baja en función de la información reportada por las estaciones de medición de los cabildos y por los ensayos de medición de los Ayuntamientos de Las Palmas de GC. También se tuvieron en cuenta las mediciones urbanas del ayuntamiento dependiendo de la zona y el

momento del día.

- Autopistas intraurbanas: se les asignó una velocidad de 70 a 80 kilómetros por hora dependiendo de la hora punta /valle.
- Autopistas interurbanas: Se les asignó una velocidad única de 104 kilómetros la hora independientemente de la hora.
- Carreteras: para vías interurbanas del tipo autovía, se consideró una velocidad media de 60 kilómetros por hora
- Caminos: para vías en mal estado, no asfaltadas o con muchas curvas, se aplicó una velocidad de 35 kilómetros por hora.

En el caso de los autobuses se hicieron mediciones *ad hoc*, (dos mediciones por cada uno de los viajes, cronometrando los tiempos de viaje entre paradas). En el caso de Tenerife se utilizaron las mediciones de la propia empresa y se añadió un tiempo de espera igual a $f/2$, siendo f el tiempo de intervalo entre un bus y otro (ver en el Anexo 7.2 la demostración)

Las caminatas, dentro de cada trayecto de acceso y egreso, implicadas tanto en el transporte privado como el público, se midieron de la misma forma que los trayectos en coche. A estas distancias se les asignó velocidades en función de edades y sexos de acuerdo con la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Velocidades asignadas a las caminatas (Km/h)

edad	hombres	Mujeres
Menor de 21	6,5	6,5
De 21 a 55	6,0	5,0
Más de 55	5,5	4,7

Fuente: Recomendaciones para el Diseño del Espacio Vial Urbano (REDEVU, MIDEPLAN, 1998 de Chile). Procedente de *Research on Road Traffic* (R.R.L.) Londres, 1985.

Finalmente, el tiempo de acceso total es igual a la suma de cada uno de los tiempos anteriores, esto es:

$$tac = ta + tb + te + tc$$

Donde tac es el tiempo de acceso, ta el tiempo de viaje en automóvil –ya sea taxi o coche- tb tiempo de viaje en bus, te tiempo de espera (de los buses o taxis) y tc tiempo de caminata (hacia las estaciones, paradas de buses o desde los aparcamientos a las estaciones).

b) Tiempo de viaje en el modo principal¹⁸

Los tiempos de viaje percibidos se introdujeron de acuerdo a la siguiente fórmula:

¹⁸ Se entenderá por modo principal al avión, jetfoil y ferrys; dado que éstos son los modos objeto principal del análisis y de esta forma se distinguen de otros modos implicados en el acceso como el bus, coche y taxi.

$$Tv_{jn} = tv_j + \mu(tp_{jn} - tv_j) \quad (3.3)$$

Donde Tv_{jn} es el tiempo de viaje del modo i asignado al individuo n ; tv_i es el tiempo de viaje medido –común para todos los individuos–; μ es un número aleatorio inferior a uno y tp_{nj} es lo que el sujeto n declaró como tiempo de viaje para el modo i . Es decir, se permite que el sujeto discrepe respecto del tiempo de viaje real en función del tiempo que declaró, atenuado por un factor aleatorio.

Por su parte, los tiempos de viaje medidos se obtuvieron a partir de la información proporcionada por la empresa o de mediciones realizadas *ad hoc*; estos fueron:

- Avión: 33 minutos
- Jetfoil: 80 minutos
- Ferry rápido (Fred Olsen): 72 minutos
- Ferry lento (Armas): 225 minutos

c) Tarifa

Análogamente, se dispuso de percepciones y declaraciones sobre los precios pagados, pero en este caso no fue necesario utilizar las percepciones. En la modelación se introduce el precio declarado por el individuo y se le imputa una tarifa de los modos no elegidos en función de sus características, partiendo siempre del supuesto de racionalidad de que elegiría la tarifa más barata disponible¹⁹.

d) Gastos de acceso y egreso

El acceso y egreso se compone de una cadena de pequeños viajes en los que se incurre en ciertos costes menores –en comparación con el precio del modo principal– que se engloban dentro de la denominación de *gasto*. Para viajes en automóvil, se consideró además el coste de aparcamiento y el de la gasolina o gasóleo aplicado en función del consumo por kilómetro. Este consumo por kilómetro depende del tipo de coche y de las características de la vía, informaciones conocidas dada la forma en la que se recolectaron los datos.

Naturalmente, se sumaron todas las tarifas de autobús y taxi considerando el amplísimo abanico de precios de autobús y taxi involucrados en todos estos

¹⁹ Tarea bastante costosa pues los cuadros tarifarios de las compañías son complejos y entrañan diferentes descuentos que pueden o no superponerse, como edad, estudiante, compra por anticipado, billete cerrado, residente o no, familia numerosa, etc. Para averiguar la tarifa correspondiente se dispuso de la información socioeconómica y del propio precio declarado por el viajero en su modo elegido que, de esta forma, revela su situación dentro del cuadro tarifario.

viajes ya que cada municipio de Canarias establece su propia tarifa de taxis y cada línea de transporte interurbano de autobuses tiene un precio diferente.

e) Frecuencias de cada modo

Éstas fueron definidas como número de expediciones al día. No obstante, también se probaron otro tipo de especificaciones como la inversa del número de expediciones.

f) Frecuencia y espera

Esta variable combina el tiempo de espera en las estaciones /puertos /aeropuertos con la frecuencia. Se define como el cociente entre el tiempo de espera y la frecuencia; así la espera se ve atenuada por la frecuencia.

g) Tiempo de espera

Se trata del tiempo de espera del modo principal y no de la espera en acceso o egreso. Es, por tanto, una espera en la que el sujeto conoce con antelación el tiempo de salida del modo y dispone normalmente de una infraestructura donde permanecer esperando.

En este trabajo se exploraron diferentes formas de capturar este dato buscando el método más realista y eficiente. Finalmente, la mayor parte de los datos introducidos fueron las esperas declaradas por los individuos y, para los modos no elegidos, las medias de las esperas de los que sí escogieron esos modos. No obstante lo anterior, en el caso del avión y el jetfoil se introdujeron las medias de las mediciones cronometradas – y que más tarde se explican- sólo para los viajeros que no escogieron esos dos modos.

Más adelante se explica con detenimiento la forma en que se analizó y recopiló la información sobre el tiempo de espera y se discuten sus resultados.

h) Variables socioeconómicas

La pregunta sobre ingreso o renta se hizo ofreciendo cinco niveles a los sujetos. En el tratamiento de los datos se buscó una variable continua y, al modo en que se trabaja en la Encuesta de Presupuestos Familiares del Instituto Nacional de Estadística, se ponderó el ingreso neto por el tamaño familiar. Así pues se procedió de la siguiente forma:

1. A cada intervalo de renta se le asignaba el punto medio.
2. Los datos perdidos –declarantes que desconocían su ingreso o se negaban a responder- se cubrieron acudiendo a la profesión declarada y buscando el salario medio que el INE calcula para esa categoría.
3. El salario así obtenido se pondera de acuerdo con los procedimientos habituales del INE para los estudios de distribución (Palacio, 2003),

dividiendo por el número de miembros del hogar con una ponderación de 0,7 para el segundo adulto y sucesivos y de 0,5 para los niños. Este sistema de ponderación proporcionó resultados más robustos que el uso directo de las ganancias reportadas.

Además de la renta, otras variables SE que se introdujeron fueron:

- Tamaño del hogar: se preguntó por el número de adultos y niños distinguiendo los menores de 12 años.
- Sexo.
- Frecuencia con la que realiza este viaje: con 11 opciones, desde “primera vez” hasta “a diario”.
- Ocupación: se utilizó para confirmar o, en su caso, reemplazar la variable renta.
- Posee coche / tipo de coche (para los que llevaban vehículo en los ferrys).

La Tabla 3.2 hace una recapitulación de las principales variables utilizadas en la modelación y su significado.

Tabla 3.2: Resumen de las principales variables en los modelos

Variable	Descripción
●Tiempo de acceso y egreso	Percepciones sobre los viajes de acceso / egreso o mediciones realizadas por el modelador
●Tiempo de viaje	Percepciones sobre el tiempo de viaje del modo principal o mediciones del mismo
●Tarifa	Precio del billete del modo principal
●Gastos de acceso y egreso	Suma de los costes de aparcamiento, autobuses, taxis y gasto en gasolina y mantenimiento del vehículo para todos los modos implicados en el acceso /egreso
●Frecuencia	Número de expediciones al día
●Tiempo de espera	Tiempo de espera experimentado por los sujetos
●Variables SE	Básicamente, como variables mudas: edad, renta, acompañado o no y sexo

3.3 Análisis de datos

En primer lugar, es preciso distinguir entre los datos crudos de la encuesta, sin suprimir ningún individuo y los de los 436 sujetos que por las razones explicadas previamente, terminaron formando parte de la muestra de la modelación.

3.3.1 Análisis de datos de la encuesta sin depurar

3.3.1.1 Descripción geográfica de los viajes

Para empezar, resulta conveniente introducir un mapa para situar el análisis anterior en el espacio. La Figura 3.1 representa las dos islas divididas en municipios. En la isla de Gran Canaria se han representado los orígenes, indicando los colores más oscuros una mayor intensidad de orígenes y degradación hacia el

blanco una reducción de los mismos, de modo tal que el color blanco denota una ausencia de viajes originados en esos municipios. La misma codificación se sigue para la isla de Tenerife entendida como lugar de destino.

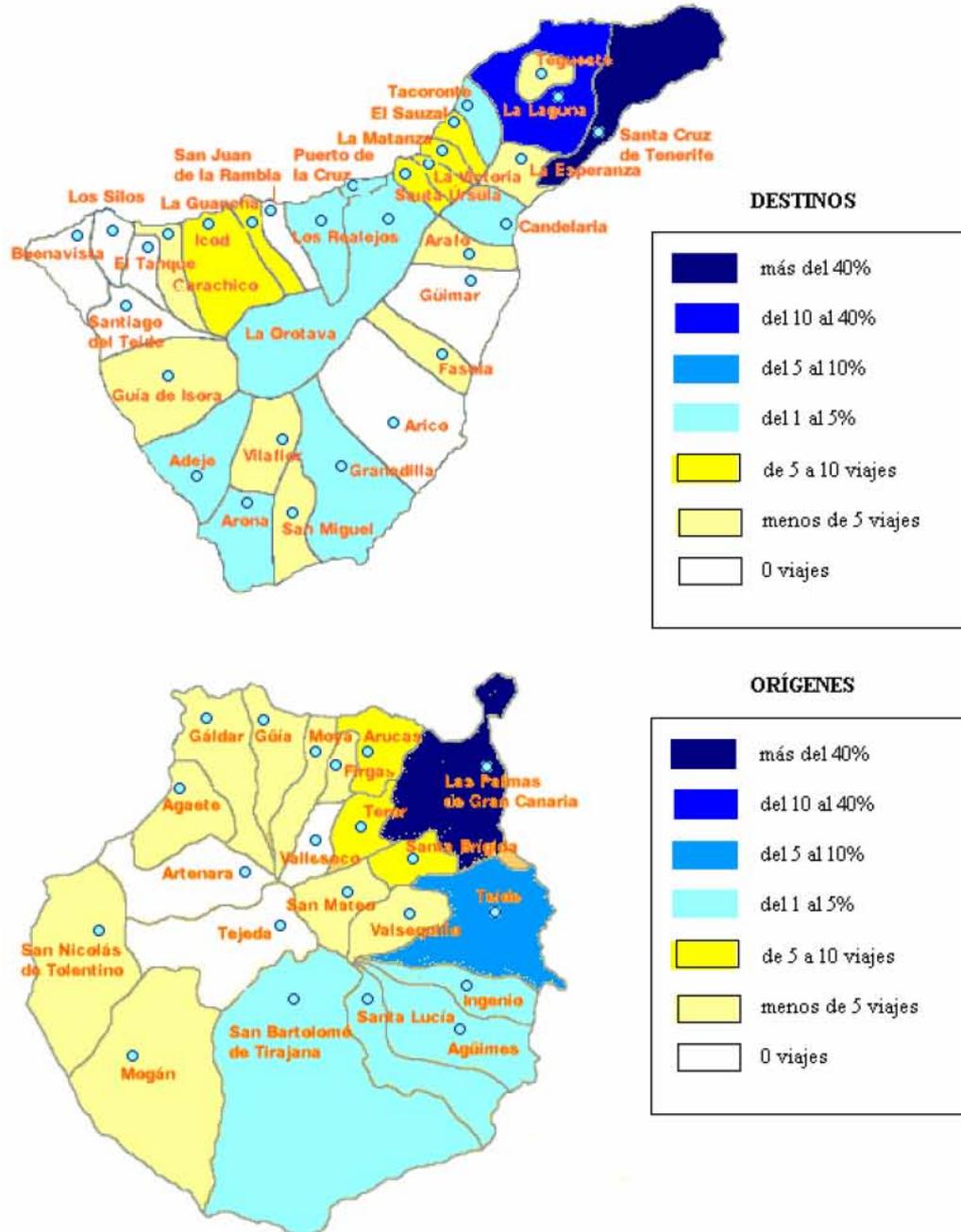


Figura 3.1 Mapa de orígenes y destinos por municipios

Es obvio que las partes más pobladas de la isla son las grandes emisoras de viajes, en particular la capital, Las Palmas de GC y, en segundo lugar Telde. Pero también los municipios del sur, donde se concentra la mayoría de la actividad turística son importantes orígenes para estos viajes. En simetría con lo anterior, los destinos se derraman en Tenerife desde las ciudades más importantes y densas –Santa Cruz y La Laguna- a los municipios turísticos del sur.

3.3.1.2 *Tablas de orígenes y destinos*

La Tabla 3.3 agrupa los orígenes y destinos por municipio. Se observa que la mayoría están aglutinados en los municipios de Las Palmas de GC, Santa Cruz de Tenerife, La Laguna y Telde, que juntos agrupan más del 85% de la población total de las dos islas. Concretamente el 74,58% de los viajes tuvo su origen en una de las dos capitales o en las otras dos ciudades principales, Telde y La Laguna. En cuanto a los destinos, el 72% de los viajes finalizó en una de las tres ciudades principales.

En la Tabla 3.4 se observan interesantes diferencias con los orígenes y destinos de la tabla 3.3, ya que muestra sólo los viajes del modo avión: obsérvese que este modo atrae más viajeros de municipios cercanos al aeropuerto: Telde arrastra el 10,31% de los orígenes, frente a los 8,11% de la tabla general. Agüimes e Ingenio, también próximos, multiplican el número de viajes en proporción respecto de la Tabla 3.3.

En Tenerife sucede algo parecido, intensificándose el número de viajes con origen en La Laguna²⁰, municipio donde está localizado el aeropuerto. Respecto de los destinos, resulta notable cómo aumenta la importancia del municipio de La Laguna como receptor de viajes. También es interesante la vinculación de los municipios del sur de Tenerife con este modo, que aumenta su proporción en los destinos.

La Tabla 3.5 ofrece los viajes del jetfoil. A diferencia del caso anterior, está clara la abrumadora importancia de la proximidad –ventaja que tiene respecto del avión– dado que el 82,18% de sus viajes se parten de Las Palmas de GC. Los municipios limítrofes a Las Palmas ocupan las otras posiciones. De Santa Cruz sólo parten el 2,55% de los viajes, porque las entrevistas fueron en la estación de Las Palmas y en este caso se trataba de individuos que regresaban y habían comenzado su viaje en Santa Cruz. Algo parecido sucede con los destinos dominados por los dos municipios cercanos al puerto, lugar de destino del jetfoil. No obstante, obsérvese que la conexión en el acceso parece pesar más que el egreso en la elección del modo, pues los destinos son mucho más variados que los orígenes.

²⁰ Si bien sólo se encuestaron a viajeros del ferry en trayectos procedentes de Tenerife, en este caso se trataba de sujetos que habían comenzado su viaje en Tenerife y regresaban, siendo encuestados en el aeropuerto de Gran Canaria.

Tabla 3.3: Orígenes y destinos: todos los datos

Origen	N	%	Destino	N	%
Las Palmas	576	56,97	Santa Cruz	405	40,06
Santa Cruz	96	9,50	La Laguna	190	18,79
Telde	82	8,11	Las Palmas GC	133	13,16
La Laguna	60	5,93	Puerto de la Cruz	37	3,66
San Bartolomé de Tirajana	29	2,87	Arona	34	3,36
Santa Lucía	23	2,27	Adeje	26	2,57
Agüimes	19	1,88	Tacoronte	19	1,88
Arona	15	1,48	La Orotava	18	1,78
Ingenio	12	1,19	Granadilla	14	1,38
Adeje	9	0,89	Los Realejos	12	1,19
Arucas	9	0,89	Candelaria	11	1,09
Puerto de la Cruz	9	0,89	San Bartolomé	11	1,09
Santa Brígida	9	0,89	Güimar	9	0,89
La Orotava	8	0,79	Telde	8	0,79
Tacoronte	7	0,69	El Sauzal	7	0,69
Candelaria	6	0,59	El Rosario	6	0,59
Teror	5	0,49	Icod	6	0,59
Mogán	4	0,40	Santa Lucía	6	0,59
Santa María de Guía	4	0,40	Santa Úrsula	6	0,59
Agaete	3	0,30	Arucas	5	0,49
Gáldar	3	0,30	Gáldar	4	0,40
Valsequillo	3	0,30	Guía de Isora	4	0,40
Icod	2	0,20	Ingenio	4	0,40
San Mateo	2	0,20	Tegueste	4	0,40
Arafo	1	0,10	Exterior	3	0,30
Arinaga	1	0,10	La Matanza	3	0,30
El Rosario	1	0,10	Mogán	3	0,30
Firgas	1	0,10	San Mateo	3	0,30
Güimar	1	0,10	Santa Brígida	3	0,30
La Laguna	1	0,10	Agaete	2	0,20
La Aldea	1	0,10	Agüimes	2	0,20
La Esperanza	1	0,10	Vilaflor	2	0,20
La Oliva	1	0,10	Arafo	1	0,10
Los Realejos	1	0,10	Fasnia	1	0,10
Moya	1	0,10	Firgas	1	0,10
San Miguel	1	0,10	Garachico	1	0,10
Santa Úrsula	1	0,10	La Aldea	1	0,10
Exterior	1	0,10	La Victoria	1	0,10
			Los Cristianos	1	0,10
			San Miguel	1	0,10
			Sta María Guía	1	0,10
			Valsequillo	1	0,10
			Valleseco	1	0,10
Total orígenes*	1011	100	Total destinos	1011	100

(*) Hay 20 valores perdidos de los datos originales

Tabla 3.4: Orígenes y destinos de viajes en avión superiores al 1%

Origen	N	%	Destino	N	%
Las Palmas	171	53,44	Santa Cruz	126	39,38
Telde	33	10,31	La Laguna	78	24,38
La Laguna	25	7,81	Las Palmas GC	20	6,25
Santa Cruz	21	6,56	Adeje	13	4,06
S. Bartolomé	16	5,00	Puerto de la Cruz	13	4,06
Agüimes	7	2,19	La Orotava	9	2,81
Ingenio	7	2,19	Arona	8	2,50
Santa Lucía	7	2,19	Candelaria	8	2,50
Mogán	4	1,25	Tacoronte	8	2,50
			Exterior	5	1,56
			Granadilla	5	1,56
			Los Realejos	4	1,25

Tabla 3.5: Orígenes y destinos de viajes en jetfoil superiores al 1%

Origen	N	%	Destino	N	%
Las Palmas	226	82,18	Santa Cruz	161	58,55
Telde	16	5,82	La Laguna	51	18,55
Santa Cruz	7	2,55	Tacoronte	11	4,00
Aruacas	4	1,45	Las Palmas GC	9	3,27
Santa Brígida	4	1,45	Puerto de la Cruz	9	3,27
S. Bartolomé	3	1,09	Los Realejos	6	2,18
			Adeje	5	1,82
			Arona	4	1,45
			Guía de Isora	3	1,09
			La Matanza	3	1,09
			La Orotava	3	1,09

La Tabla 3.6 expone el ranking de orígenes y destinos para el caso del ferry rápido. Destaca la importancia de los municipios del norte, que multiplican su presencia en esos viajes, resultado lógico dada su cercanía con el punto de origen (Agaete). También es importante la presencia de municipios tinerfeños cercanos al puerto²¹. Los destinos se reparten de forma más igualitaria entre las dos islas dadas la forma en la que se hicieron las encuestas. Por último, en la Tabla 3.7 que ofrece las cifras para el ferry lento, se observa cómo los orígenes y destinos se agrupan en los municipios cercanos al puerto; sin embargo, es notable la pérdida de importancia de las capitales, lo que probablemente refleja la elección por razón de precio que resulta esencial, cuando no la única opción de gran parte de los viajeros.

²¹ Hay que tener en cuenta que, dado que en el caso de los ferrys se hicieron encuestas a bordo de los ferrys, también se entrevistaron viajeros con origen en Tenerife para estos dos modos.

Tabla 3.6: Orígenes y destinos de viajes en ferry rápido superiores al 1%

Origen	N	%	Destino	N	%
Las Palmas	106	44,73	Santa Cruz	64	27,00
Santa Cruz	41	17,30	Las Palmas GC	53	22,36
La Laguna	22	9,28	La Laguna	37	15,61
Telde	14	5,91	Desconocido	9	3,80
Desconocido	10	4,22	Arona	8	3,38
La Orotava	6	2,53	Güima	7	2,95
S. Bartolomé	6	2,53	Adeje	5	2,11
Arona	5	2,11	Arucas	5	2,11
Santa Lucía	5	2,11	Puerto de la Cruz	5	2,11
Tacoronte	5	2,11	San Bartolomé	5	2,11
Santa María de Guía	4	1,69	Gáldar	4	1,69
Arucas	3	1,27	Granadilla	4	1,69
Puerto de la Cruz	3	1,27	Ingenio	4	1,69
			La Orotava	4	1,69
			Santa Lucía	4	1,69
			El Rosario	4	1,27
			Mogán	3	1,27
			Telde	3	1,27

Tabla 3.7: Orígenes y destinos de viajes en ferry lento superiores al 1%

Origen	N	%	Destino	N	%
Las Palmas	67	37,43	Santa Cruz	54	30,17
Santa Cruz	27	15,08	Las Palmas GC	51	28,49
Telde	21	11,73	La Laguna	24	13,41
La Laguna	15	8,38	Arona	10	5,59
Agüimes	9	5,03	Puerto de la Cruz	10	5,59
Santa Lucía	9	5,03	El Sauzal	5	2,79
Arona	6	3,35	Granadilla	4	2,23
S. Bartolomé	5	2,79	S. Bartolomé	4	2,23
Adeje	3	1,68	Adeje	2	1,12
Candelaria	3	1,68	La Orotava	2	1,12
Puerto de la Cruz	3	1,68	Telde	2	1,12
Arucas	2	1,12	Agüimes	1	0,56
Santa Brígida	2	1,12	Candelaria	1	0,56
			Fasnia	1	0,56

La Tabla 3.8 es una matriz O-D de orígenes y destinos agregados que superan los diez viajes. Como era de esperar, la celda más importante corresponde a los viajes entre Santa Cruz de Tenerife y Las Palmas de GC, con 297 viajes que representa aproximadamente el 30% del total de viajes de la encuesta. Si a estos añadimos el flujo en sentido contrario –con origen en Santa Cruz- tenemos que casi el 34% de los viajes tiene su origen o destino en las dos principales capitales, cifra que se eleva al 48% si consideramos el área metropolitana de La Laguna-Santa Cruz conjuntamente. Es destacable, por otro lado, la importancia de los municipios turísticos del sur de Tenerife como puntos de atracción de viajes ya que Adeje y Arona suman casi el 3% del total de viajes que salen de Las Palmas.

Tabla 3.8: Matriz Origen-Destino resumida
(para orígenes y destinos superiores a diez viajes)

origen \ destino	N	exterior	Desconocido	Adeje	Arona	Candelaria	Granadilla	La Laguna	La Orotava	Las Palmas	Pto. de la Cruz	Santa Cruz	Tacoronte	Telde
Agüimes	12				1	1	3					7		
Arona	14				1					12				1
Ingenio	12				1	1	2		2	4	2		2	
La Laguna	53				1		21		29	1				1
Las Palmas de GC	532	2	8	12	16	5	7	122	11	20	18	297	13	1
San Bartolomé	24			2	1		1	6	1		4	9		
Santa Cruz	71							3		45		22		1
Santa Lucía	19			1	3		2	2	2		2	7		
Telde	78		1	2	7	1	2	17	1		6	37	2	2
desconocido	19		9		2			2		2		4		
exterior	1											1		
	835	2	18	17	30	9	13	177	17	108	33	388	17	6

3.3.2 Análisis de datos de la encuesta depurada

Como se ha explicado, a partir de los datos brutos de la muestra se seleccionaron los individuos para ser utilizados en la modelación posterior. A continuación se realizará una descripción de esos datos con ayuda de los gráficos 3.2 a 3.6.

- *Sexo*: Aunque es bastante similar –próximo a la mitad del total-, las mujeres prefieren claramente el avión, donde representan el 60% del total de viajeros. Gráfico 3.2.

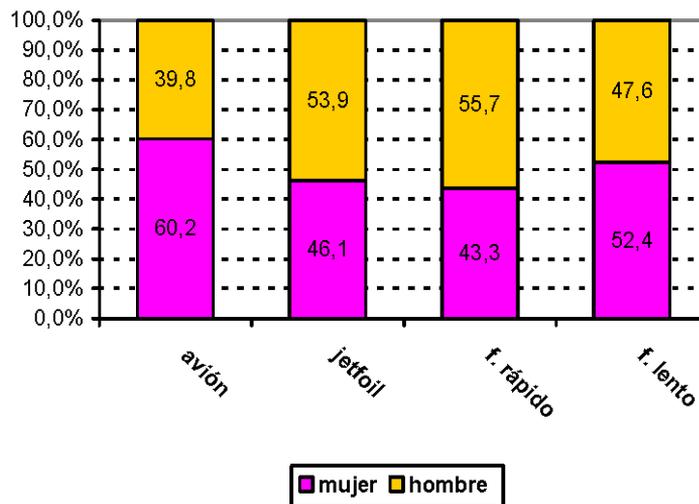


Gráfico 3.1: Elección y sexo

- Ingreso*: El avión lidera a los pasajeros de ingreso alto, dado que suponen el 43% de sus viajeros frente a los de renta baja que sólo supone el 19%. Los otros dos modos comparten una distribución de ingreso similar, con el grupo de renta alta que representa el 33% de sus viajeros aproximadamente (gráfico 3.2)

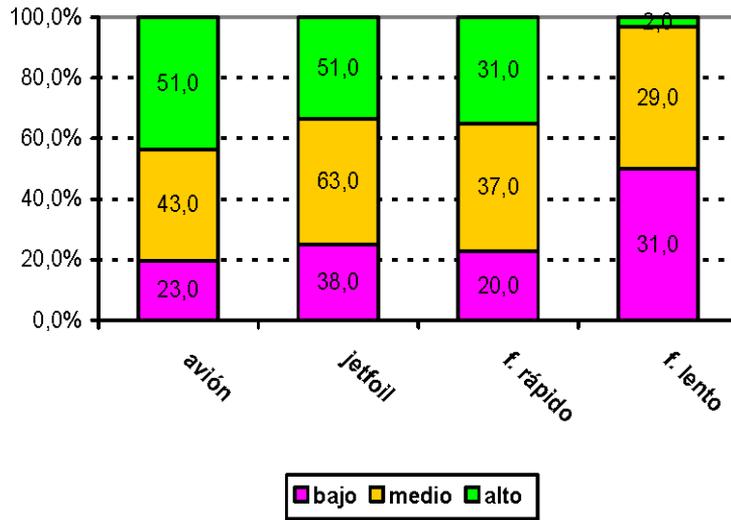


Gráfico 3.2: elección e ingreso

- Edad*: Poca presencia relativa de jóvenes en el avión donde el grupo más numeroso son los maduros. Los jóvenes prefieren el ferry rápido. (Gráfico 3.4)

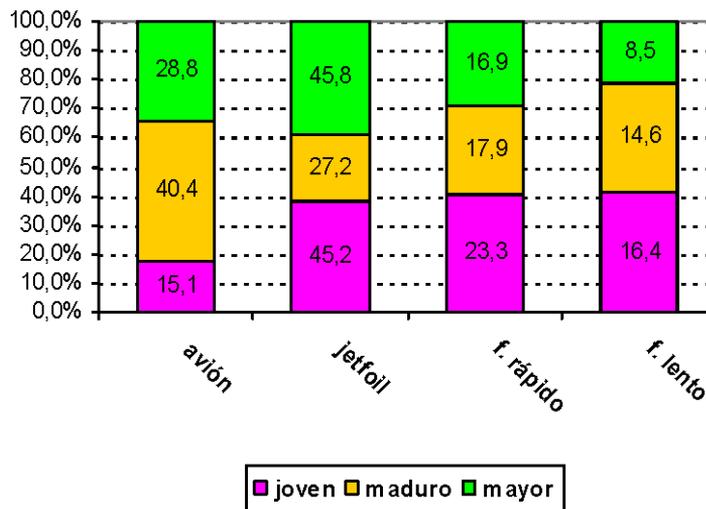


Gráfico 3.3: Elección y edad

Los motivos del viaje se analizan en las tablas 3.9 y 3.10. Se destacan los siguientes rasgos:

- *Motivo trabajo*: transversalmente, se observa que el grupo de los que realizan viajes por motivos de trabajo prefieren claramente el jetfoil (49%) y se reparten a partes iguales entre el avión y el ferry rápido. Naturalmente, el ferry lento no es apropiado para viajes de trabajo, dada su lentitud y sólo es elegido por el 6,30% de los sujetos que declaran viajar por ese motivo. Sin embargo, este resultado está afectado por el proceso de depuración, que eliminó un número considerable de viajeros por razones de trabajo que tenían su billete pagado. En efecto, si tomamos los datos de la encuesta original, el 46% de los pasajeros por motivos de trabajo se desplazan en avión, frente al 30% del jetfoil y el 21% del ferry rápido.
- *Motivo negocios*²²: también en este caso el jetfoil es el modo favorito dado que el 48% de los pasajeros incluidos en esta categoría escogieron este medio. Para los datos de la encuesta original, los datos no resultan tan acusados, si bien el jetfoil parece el modo favorito para los viajes por motivo de negocios.
- *Visitas a médicos y similar*: En este caso, el avión es el modo principal dado que aglutina la mitad de los viajes por este motivo, seguido por el jetfoil (33,30%) y ya, mucho más lejano, por el ferry rápido (16,70%). Es significativo observar que no hay ni un solo caso declarado en el ferry lento.
- *Viajes por estudios*: Aquí los usuarios se reparten de manera bastante igualitaria el avión, jetfoil y ferry rápido, registrándose el mismo porcentaje en avión y jetfoil (28,10%) siendo el ferry rápido el modo favorito con un 34,40%. Quizá esto refleje la menor capacidad adquisitiva de los estudiantes, que bascula su opción hacia un modo relativamente más barato que los otros dos. Esta idea se refuerza si observamos que casi el 10% de esos viajes se realiza en el ferry lento. Lo anterior no hace sino acentuarse si contemplamos los datos para la encuesta sin depurar; así, el ferry rápido acapara el 40% de este tipo de viajes frente al 21 y 28% para el avión y jetfoil respectivamente.
- *Viajes por motivos de ocio y similares*: visitar amigos y viajar de vacaciones son motivos que se especializan en el jetfoil; ahora bien, si la pregunta es sobre una atracción turística en particular, es el ferry lento el que lidera la tabla con el 53% de los viajes. La explicación para este resultado, en apariencia extraño, radica en la asistencia al concierto del Womad en Las Palmas, que atrajo miles de jóvenes de Tenerife que, dado

²² La diferencia con trabajo es la que los entrevistados considerasen, pues son respuestas espontáneas (esto es, no son respuestas ajustadas a una tarjeta). No obstante, parece bastante extendida la idea de que quien viaja por negocios es un trabajador por cuenta propia, mientras que en los viajes por trabajo el sujeto puede ser un empleado o trabajar también por cuenta propia.

que se trataba de un grupo de ingreso bajo, escogió en masa el ferry lento para este desplazamiento.

- *Viajes de compras*: se produce un reparto igualitario entre los tres primeros modos, con la celda correspondiente al ferry lento vacía. Considerando la encuesta previa a la depuración, es el avión el modo más importante en el caso de este motivo.

Tabla 3.9: Distribución de motivos dentro de cada modo

	avión	jetfoil	Ferry rápido	Ferry lento
Trabajo	11,90%	18,60%	15,90%	6,30%
De compras	0,80%	0,60%	1,10%	0,00%
Negocios	5,10%	7,20%	6,80%	1,60%
Visitar amigos o familiares	44,10%	40,70%	29,50%	54,00%
Estudios	7,60%	5,40%	12,50%	4,80%
De Vacaciones	15,30%	15,60%	26,10%	17,50%
Visitar una atracción turística	0,80%	0,60%	5,70%	12,70%
Visitas médicos, hospital, etc	5,10%	2,40%	2,30%	0,00%
Deportes.	5,90%	7,80%	0,00%	3,20%
Otros	3,40%	0,60%		
	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla 3.10: Distribución de viajes en función del motivo

	avión	jetfoil	Ferry rápido	Ferry lento	
Trabajo	22,20%	49,20%	22,20%	6,30%	100,00%
De compras	33,30%	33,30%	33,30%		100,00%
Negocios	24,00%	48,00%	24,00%	4,00%	100,00%
Visitar amigos o familiares	28,90%	37,80%	14,40%	18,90%	100,00%
Estudios	28,10%	28,10%	34,40%	9,40%	100,00%
De Vacaciones	23,10%	33,30%	29,50%	14,10%	100,00%
Una atracción turística	6,70%	6,70%	33,30%	53,30%	100,00%
Médicos, hospital,	50,00%	33,30%	16,70%		100,00%
Deportes.	31,80%	59,10%		9,10%	100,00%
Otros	80,00%	20,00%			100,00%

- *Elección y grupos*: Los gráficos 3.5 y 3.6 describen la relación entre los modos y los grupos, siendo el primero referido a los datos originales. Da la impresión de que los grupos prefieren los ferrys, en particular el ferry lento. Incluso habiendo suprimido los pasajeros sin coche; así, los ferrys parecen un modo de transporte ideal para los grupos y familias, tal vez por la posibilidad de transformar la libertad de movimientos y la mayor duración del viaje –respecto del avión, ya que en puridad, el jetfoil dura más que el ferry rápido- para interactuar con los miembros del grupo. También está relacionado con el perfil de los grupos: jóvenes con bajo nivel adquisitivo son una parte importante de ellos y, naturalmente, estos prefieren los modos más baratos. Así, pues, los modos gregarios son los dos ferrys, y los dos primeros modos parecen tener muchas cosas en común, pues la estructura de su demanda es similar.

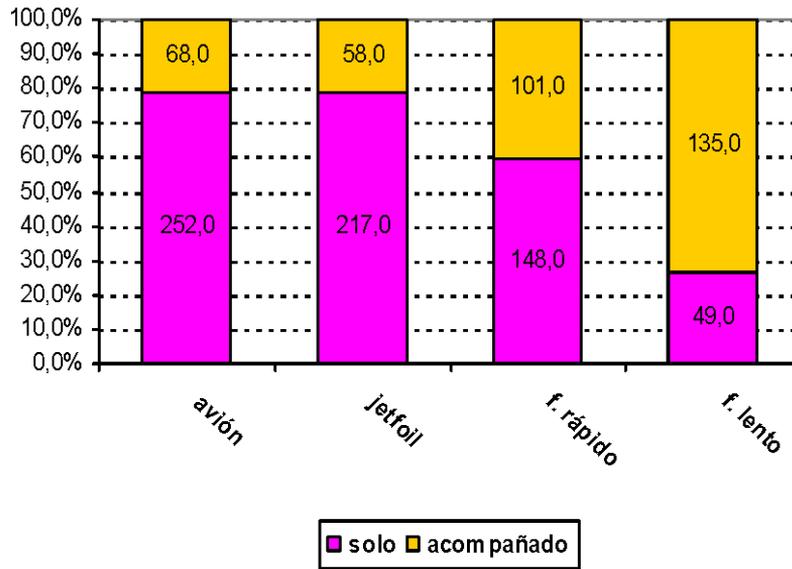


Gráfico 3.4: elección y viaja acompañado (datos sin depurar)

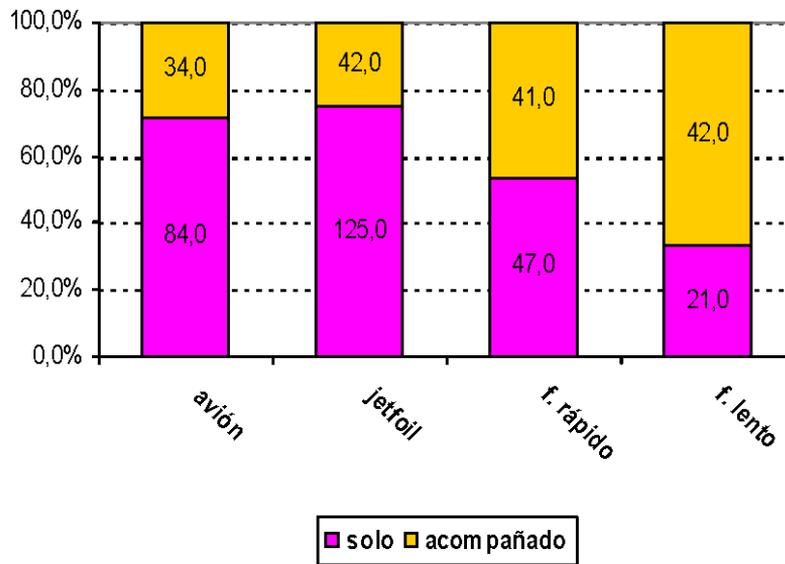


Gráfico 3.5: Elección y viaja acompañado (encuesta)

- *Frecuencia del viajero*: los viajeros frecuentes prefieren los modos más rápidos, lo que tiene sentido, si bien el ferry rápido no difiere demasiado del jetfoil (Gráfico 3.7).

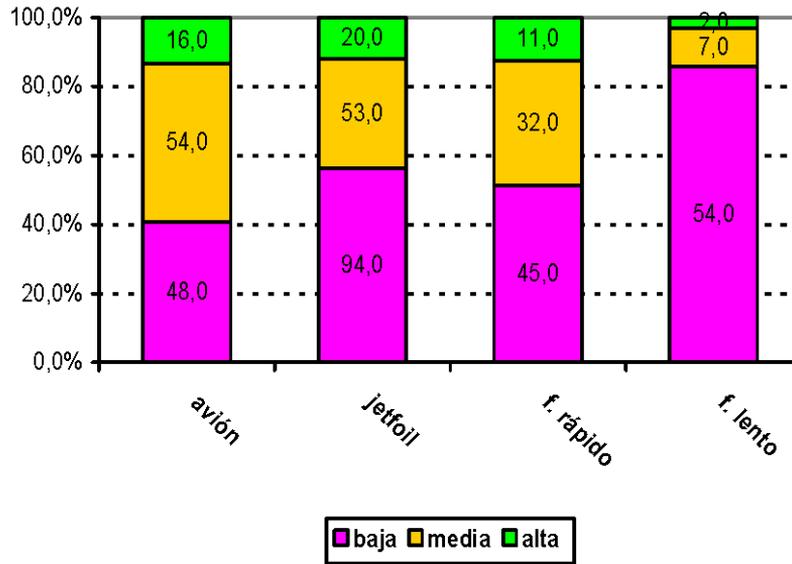


Gráfico 3.6: Elección y frecuencia

3.3 Análisis de las percepciones y su relación con los datos reales

En la psicología se relacionan los valores percibidos de un fenómeno con su valor real a través de la llamada Ley de Stevens (Stevens, 1957; Teghtsoonian, 1971) que postula que

$$VP = a(VR)^b \quad (3.4)$$

donde VP es el valor percibido, VR el valor real, y a y b son parámetros a estimar, relacionados con las características del fenómeno objeto de estudio.

Hay varios antecedentes de estimaciones de estos coeficientes: (Burnett, 1976; Clark, 1983; Briggs, 1973; Hutt, 1983) cuyos principales resultados se muestran en la Tabla 3.11. En ella puede apreciarse cierta regularidad dado que el parámetro b es siempre menor que uno, mientras que a es mayor que uno. Esto significa que la percepción de la duración del viaje se atenúa a medida que aumenta la duración del mismo (una misma fracción de tiempo se percibe más pequeña en un viaje largo que en uno corto) y que, por otra parte, esta percepción resulta siempre superior a la medición real del viaje.

La obtención de valores percibidos y su contraste con los reales, nos brinda la oportunidad de analizar el grado de precisión de los viajeros y relacionarlo con sus variables socioeconómicas. En este sentido, Adiv (1983) analizó la percepción del coste de viaje para usuarios de automóvil. Su objetivo era establecer la forma en

que los viajeros realizaban sus estimaciones, encontrando que éstas eran más precisas cuanto más aumentaba la renta y el nivel cultural de los encuestados. Además, encontró que los hombres hacían mejores estimaciones que las mujeres.

Tabla 3.11: Resúmenes de resultados aplicando la Ley de Stevens

Estudio	datos	a	b	R ²
Briggs (1973)	Distancia	1,50	0,60-0,95	0,45-0,76
Burnett (1976)	Tv coche	1,31-3,65	0,6-0,89	0,52-0,84
Clark (1983)	Tv coche	1,83-3,70	0,35-0,86	
	tv coche	3,25	0,76	0,37
Hutt (1983)	tv metro	2,70	0,74	0,49
	tv bus	1,43	0,88	0,52

Las diferencias en las percepciones y actitudes hacia el viaje en hombres y mujeres han sido ampliamente estudiadas (Blumen, 1994; Hjortol, 2001)²³. Además, la percepción del tiempo depende de la cultura, las características del contexto y las diferencias entre individuos (Bourdieu, 1965).

Otro aspecto de esta investigación es conocer hasta qué punto es mejor para la modelación el uso de datos reportados por los viajeros en lugar de los datos medidos por el modelador. Dado que las decisiones de los sujetos están basadas en su percepción de la realidad, es lógico asumir que los modelos que usen esta información resultarán mejores que los contruidos sobre información medida. En efecto, los modelos calibrados por Clark (1983) confirman ésta hipótesis.

Por tratarse de un análisis de las percepciones y, dado que no estamos modelando la elección, no rigen las mismas razones que se expusieron antes para depurar la muestra; de modo que se utilizaron los datos completos, siempre que hubiese respuesta a esta pregunta (hay que considerar que hubo muchas respuestas en blanco sobre la percepción de tiempos de viaje y costos).

Analizaremos tres tipos de tiempo de viaje: en el modo, de acceso y de egreso; en estos dos últimos casos, dado que el tiempo de acceso es un agregado de diferentes modos, lo desglosaremos en viajes en automóvil y en autobús. Así, se busca encontrar una nueva evidencia de la ley de Stevens, pero, además se planteará una extensión de la misma, añadiendo otras variables explicativas en combinación con los datos reales, de manera que los resultados mejoren. Como se ha explicado, otro enfoque del problema será el análisis de la estructura de los errores entre el tiempo percibido y el real.

²³ Según Hjortol (2001) las diferencias en percepción de hombres y mujeres se deben a la interacción de las experiencias que ambos tienen en las diferentes áreas sociales: trabajo pagado y trabajo en casa (por ejemplo). Lo que cada día hacen hombres y mujeres, su experiencia diaria, establece diferentes formas de percibir el tiempo. Esto está relacionado con las formas de producción, dado que hombres y mujeres pertenecen todavía en un grado elevado, a diferentes partes de la fuerza de trabajo

Antes de presentar los resultados, resulta útil describir los estadísticos que van a ser usados en esta tarea. Con objeto de evaluar la calidad global del ajuste es conocido el uso del estadístico R^2 que el programa SPSS proporciona en cada una de las regresiones.

R^2 se define como la razón entre la variación explicada y la variación total; esto es, representa la proporción de variación explicada por el modelo. No obstante, un mejor estadístico en esta sentido es el R^2 ajustado, donde k representa el número de regresores del modelo y n el de observaciones:

$$\bar{R}^2 = \left(R^2 - \frac{k}{n-1} \right) \left(\frac{n-1}{n-k-1} \right) \quad (3.5)$$

Finalmente, existen varios criterios para discernir entre un modelo y su restringido (Maddala, 2001). Sean dos modelos: uno restringido con k_1 variables y otro general con k parámetros siendo $k = k_1 + k_2$. Definamos $\lambda = SCR_r / SCR_g$ donde SCR_r y SCR_g son la suma de cuadrados de los residuos del modelo restringido y no restringido respectivamente. Entonces, para testar la hipótesis de que el subconjunto de parámetros k_2 es cero se construye un estadístico F de la siguiente forma:

$$F = \frac{(SCR_r - SCR_g) / k_2}{SCR_g / (n - k)} = \frac{(\lambda - 1)(n - k)}{k_2} \quad (3.6)$$

Este estadístico distribuye como una F de Snedecor con $n-k$ grados de libertad. A partir de (3.6) es posible derivar diferentes criterios de elección entre el modelo restringido y el general que se listan en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12: criterios de elección

Criterio	Elijase el modelo restringido si
Máximo R^2	$F < 1$
Mallow	$F < 2$
Amemiya	$F < \frac{2n}{n + k_1}$
Hocking	$F < 2 + \frac{k_2 + 1}{n - k - 1}$
Akaike AIC	$F < \frac{n - k}{n + k_1}$

(Fuente: Maddala, 2001, pg. 490)

De entre ellos, el más adecuado es el criterio de Akaike ya que resulta apropiado para muestras grandes –aquellas en las que n es notablemente superior a k –; Dado el tamaño de la muestra, será el criterio utilizado. Además, en este caso, los criterios de Mallow, Amemiya y Hockings colapsan en $F=2$.

3.3.1 Aplicaciones de la ley de Stevens

Como se había señalado, distinguiremos entre el tiempo de viaje en el modo principal y el tiempo de acceso y egreso que, además, se desglosará por automóvil y autobús.

3.3.1.1 Aplicaciones para el tiempo de viaje

En este caso del tiempo de viaje nos encontramos con el problema de la reducida variabilidad de los datos reales en relación con los percibidos. En una situación ideal deberían cronometrarse los tiempos asociados a cada uno de los viajes en que los usuarios fueron encuestados; en nuestro caso, sin embargo, disponemos sólo de cuatro mediciones correspondientes a los cuatro valores medidos del tiempo de viaje por modo. Así pues, para encontrar cierta variabilidad se modelaron dos conjuntos: los ferrys y el avión y jetfoil.

- Descripción de la distribución de las percepciones del tiempo de viaje

Las Tablas 3.13 y 3.14 listan los resultados en cuanto a la percepción del tiempo de viaje de todos los sujetos que declararon sus tiempos percibidos. Se distingue entre usuarios y no usuarios del modo para detectar los diferentes sesgos.

Tabla 3.13: Percepción del tiempo de viaje

TV medio	Declarado todos	Declarado usuarios	Medido
Avión	27	29	33
Jetfoil	76	81	80
Ferry r	87	68	72
Ferry l	226	227	225

Tabla 3.14: Distribución de percepciones del tiempo de viaje

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Típ
Avión	640	15	120	75,77	16,62
Jetfoil	624	30	220	86,95	36,06
Ferry r	625	10	120	27,07	9,24
Ferry l	594	90	480	225,91	36,55

En el caso del avión: todos los individuos piensan que es más rápido de lo que en realidad es. Por otro lado, en el caso extremo del ferry lento, sucede que todos piensan que es más lento de lo que en realidad es. El jetfoil y ferry rápido ocupan posiciones intermedias ya que la medición separa a los usuarios de los no usuarios, con la diferencia de que en el jetfoil los usuarios piensan que es más lento que el valor medido y en el ferry rápido sucede al revés. Lo dicho anteriormente puede expresarse en una clasificación como la siguiente:

- avión: todos < usuarios < medido
- jetfoil: todos < medido < usuarios

- ferry rápido: usuarios < **medido** < todos
- ferry lento: **medido** < todos < usuarios

Parece pues que los modos lentos son percibidos como más lentos aún y los modos rápidos como más rápidos de lo que en realidad son. Las desviaciones típicas nos informan de que la distribución de las percepciones presenta una varianza mayor en el ferry lento y el jetfoil. Sin embargo, si relacionamos la desviación con la duración del viaje, los dos ferrys presentan menor variación que el avión y el jetfoil.

• *Aplicación de la ley de Stevens al tiempo de viaje*

Es posible linealizar la expresión general de la ley de Stevens (3.4) tomando logaritmos, lo que facilita el trabajo de estimación. Así, en lo sucesivo se estimarán modelos de la siguiente forma:

$$\ln(VP) = \ln(a) + b \ln(VR) \quad (3.7)$$

La Tabla 3.15 muestra los resultados principales de la ley de Stevens aplicada al tiempo de viaje. Los modelos son altamente significativos, como se observa en su R^2 . Sin embargo, exceptuando el caso de los ferrys, los resultados no se encuentran en el rango de valores históricamente reportados para este tipo de análisis. Pudiera suceder que esto fuese la consecuencia de contrastar las percepciones con la limitada variación de datos reales disponibles.

Tabla 3.15: Ley de Stevens para el tiempo de viaje

	Avión-jetfoil	ferry	Todos modos
R^2	0,75	0,7	0,83
a	0,42 (11,39)	1,91 (8,1)	0,6 (-11,2)
b	1,176 (62)	0,874 (53,1)	1,1 (109,3)
SCR	113,348	116,116	259,587
n	1269	1152	2421

• *Desarrollo de la ley de Stevens*

Una forma de enriquecer el planteamiento original de la ley de Stevens es introducir otras variables de explicativas relacionadas con la variable explicativa principal (el valor real, VR) de la siguiente forma:

$$\ln(VP) = \ln(a) + b_0 \ln(VR) + \sum_s b_s d_s \ln(VR) \quad (3.8)$$

Para $s=1$ hasta S , siendo S el número de variables socioeconómicas incluidas en el modelo

Las variables añadidas al modelo son:

- Elección: si elige uno de los modos. Se introduce como variables mudas en tres niveles (jetfoil, ferry rápido y lento) dejando el avión como base.
- Frecuencia con que el viajero realiza el viaje. Los niveles de respuesta se asignaron a tres variables: la básica es frecuencia baja, introduciendo dos variables mudas para frecuencias medias y altas.
- Mujer: variable muda que vale uno si el individuo es de sexo femenino.
- Trabajo: variable ficticia cuyo valor es uno si el viajero si el motivo del viaje es el trabajo.
- Edad: con dos variables mudas para maduro (de 30 a 49) y mayor (más de

La tabla 3.16 muestra los coeficientes estimados considerando el modelo (3.8) con las variables SE citadas.

Tabla 3.16: Ley de Stevens con variables SE para el tiempo de viaje

	avión-jetfoil	ferrys	todos
R^2	0,76	0,72	0,835
a	0,43 (-11,63)	2,03 (9,1)	0,62 (-10,537)
b	1,142 (5,88)	0,877 (51,69)	1,097 (100,444)
Elección av-jf / ferry -b	2,56E-02 (60,37)	1,165E-02 (2,84)	-
Frec media y alta-b	9,57E-03 (2,23)	-	-
Ingreso medio y alta-b	1,08E-02 (2,4)	-	-
Ingreso alto-b	-	-8,230E-03 (-0,9)	-4,976E-03 (-0,8)
Ingreso medio-b	-	-1,393E-02 (-3,34)	-
Mujer-b	1,25E-02 (2,7)	-8,108E-03 (-1,97)	-4,184E-03 (-1,2)
trabajo-b	1,12E-02 (1,7)	-2,100E-02 (-4,8)	-7,475E-03 (-1,9)
Avión-b	-	-	-9,428E-03 (-1,7)
Ferry rápido-b	-	-	-1,377E-02 (-3,77)
Ferry lento-b	-	-	1,531E-02 (3,38)
Frecuencia media-b	-	-	8,303E-03 (2,1)
Frecuencia alta-b	-	-	6,211E-03 (1,3)
Mayor-b	-	-1,502E-02 (-2,62)	-
Maduro y viejo-b	-	-	6,938E-03 (2,1)
N	1269	1152	2421

A partir de estos resultados se puede concluir lo siguiente:

- Para el modelo avión-jetfoil la mejora del modelo de Stevens es significativa ya que el test F calculado de acuerdo con (3.2) es 15,80 superior a todos los límites marcados en los diferentes criterios; en particular, el de Akaike, apropiado para muestras grandes resulta de 0,98.
- Respecto del modelo para los dos ferrys, se tiene que el F es 12,55; de modo que también en este caso el modelo general resulta mejor que el restringido.
- Finalmente, en el modelo para todos los datos se obtiene 7,86 que también supera todos los test planteados siendo, además, el mejor modelo.

Así pues en todos los casos, la especificación planteada supone una significativa mejora del modelo general de Stevens. Respecto del ajuste general de los modelos: todos son claramente significativos. La introducción de más variables tiene el efecto de reducir el coeficiente b y aumentar el a .

3.3.1.2 *Análisis de las percepciones del tiempo de viaje en el acceso y el egreso*

En el acceso, a diferencia del tiempo de viaje, tenemos la ventaja de disponer de una amplísima variedad de mediciones, dado que cada individuo es diferente al partir de un punto específico del espacio y terminar en un destino concreto. Sin embargo, también es verdad que la posibilidad de cometer errores, tanto por parte del modelador al medir las distancias y convertirlas en tiempo, como por parte de los viajeros al declarar los tiempos de viaje, es mucho mayor.

Por esta razón, de la muestra inicial sólo se consideraron los sujetos cuyo punto de origen y destino era totalmente preciso. En segundo lugar, debieron eliminarse aquellos que no declararon tiempo de acceso o que declararon valores disparatados. Finalmente, tampoco se tuvieron en cuenta las declaraciones sobre modos no elegidos, pues los valores perdidos aumentaban considerablemente y la imprecisión de los sujetos crecía. Por tanto, se seleccionaron viajeros con origen y destino conocido con claridad y percepciones acerca del tiempo de viaje, tanto en el acceso como en el egreso, del modo que efectivamente eligieron.

Hechas estas aclaraciones, conviene explicar la sucesión de regresiones que vienen a continuación: en primer lugar el análisis de los viajes en automóvil y en autobús y en segundo lugar el viaje completo sumando todos los modos. En ambos casos se distinguirá entre viajes de acceso y egreso.

- *Aplicaciones de la ley de Stevens*

a) Coches y buses

Las tablas 3.17 y 3.18 resumen los resultados de la modelación para el caso de viajes en automóvil y autobús, de tal suerte que en la primera están divididas por modo principal elegido y en viajes de acceso y egreso; la tabla 3.18 presenta la visión agregada de ambos modos.

En general, el ajuste es bueno, de acuerdo con el estadístico R^2 , sin embargo, de todos los modelos listados en la Tabla 3.18, el mejor es el que no discrimina por elección de modo y comprende sólo viajes de acceso. Por el contrario, en los viajes de egreso, el avión resulta el peor de todos. En cualquiera de los casos, la comparación del viaje de acceso con el de egreso reporta mejores resultados para el primero, lo que señala otra vez la peor calidad de los datos del egreso que resulta, a

su vez, del mayor esfuerzo que hacen los viajeros al concebir el viaje a futuro (Kahneman, 1997)²⁴, en lugar de relatar lo que acaba de suceder.

Tabla 3.17: Ley de Stevens para viajes en coche

viajes de acceso					
	Coche todos	Eligen avión	Eligen jetfoil	Eligen ferry r	Eligen ferry l
R²	0,762	0,539	0,689	0,454	0,682
a	2,34 (13,06)	2,85 (7,28)	2,61 (10,04)	4,85 (4,64)	4,19 (8,87)
b	0,818 (33,79)	0,698 (12,51)	0,721 (14,95)	0,685 (6,94)	0,618 (11,06)
n	358				
viajes de egreso					
	Coche todos	Eligen avión	Eligen jetfoil	Eligen ferry r	Eligen ferry l
R²	0,660	0,476	0,626	0,636	0,712
a	2,66 (12,70)	3,43 (8,47)	2,75 (7,81)	1,62 (1,75)	3,05 (5,86)
b	0,773 (27,00)	0,676 (10,95)	0,717 (13,62)	0,961 (11,13)	0,726 (11,77)
n	379				

Tabla 3.18: Ley de Stevens (acceso y egreso)

	bus	Coche
R	0,424	0,708
a	1,92 (1,51)	2,51 (18,08)
b	0,738 (7,08)	0,795 (42,14)
n	70	737

Los valores de los parámetros se encuentran en un rango de uno a tres en el caso de *a*, excepto en los ferrys en el acceso; esto podría ser consecuencia de la mayor distancia entre la percepción y la medición para el modo situado más lejos de la mayoría de los orígenes, que es el ferry rápido. El parámetro *b* es siempre menor que uno, lo que, como se ha señalado, viene a atenuar la percepción de una misma fracción de tiempo.

De la comparación del autobús con el automóvil en la Tabla 3.18, se concluye que los datos de autobús son de menor calidad, entre otras cosas porque engloban el tiempo de espera y de caminata que, aunque pudiesen desglosarse en la medición, no fueron separados en las declaraciones de los individuos. También hay que tener en cuenta que el número de respuestas válidas es muy inferior en el caso del transporte público, lo que redundaría en la baja calidad de las estimaciones.

c) Todos los modos agregados

La modelación aquí se hace con independencia del modo elegido y agregando todos los viajes en un solo concepto, distinguiendo sólo entre acceso y egreso. La Tabla 3.19 muestra los resultados, donde puede comprobarse que los modelos son robustos y que, de nuevo, el correspondiente al tiempo de egreso resulta menos significativo que el de acceso, medido a través de su *R²*. Por otro lado, el rango de sus valores se encuentra dentro de lo reportado en la literatura.

²⁴ Kahneman prueba que los individuos son poco consistentes con sus declaraciones sobre las opciones que escogerán en escenarios futuros.

Tabla 3.19: Ley de Stevens a todo el viaje

	acceso	egreso
R²	0,705	0,613
a	2,93 (16,97)	3,21 (16,17)
b	0,690 (33,06)	0,670 (27,12)
SCR	82,190	116,497
n	155	467

- *Desarrollo de la ley de Stevens*

Finalmente, a partir de los modelos expuestos en la Tabla 3.19, se desarrolla un modelo similar al estimado con (3.8). Las variables son las mismas ya descritas para el tiempo de viaje, salvo la variable muda cuyo valor es uno para el caso de viajeros solos. La Tabla 3.20 muestra los resultados que pueden compararse directamente con los de la Tabla 3.19 (que constituyen una versión restringida de los primeros).

Tabla 3.20: Ley de Stevens con variables SE para el acceso y egreso

	acceso	egreso
R²	0,743	0,629
a	3,46 (18,55)	3,32 (13,08)
b	0,566 (20,87)	0,642 (21,00)
Ferry lento-b	4,403E-02 (2,22)	-
Ferry rápido-b	0,109 (6,44)	2,213E-02 (1,171)
Jetfoil-b	-2,987E-02 (-1,56)	-5,533E-02 (-2,72)
Va al trabajo-b	1,522E-02 (1,05)	-8,067E-02 (-1,52)
Mujer-b	-	-
Mayor-b	4,988E-02 (2,36)	7,518E-02 (0,91)
Maduro-b	3,417E-02 (2,42)	5,078E-02 (0,9)
Mayor+maduro-b	-	-
Ingreso alto-b	-	-
Ingreso medio y alto-b	-	6,219E-03 (1,29)
Frec. media y alta-b	-	4,987E-02 (0,99)
Frecuencia med-b	-	-
Frecuencia alta-b	-	-
Maduro+mayor-b	-	-
Solo-b	1,829E-02 (1,35)	-
N	155	467
F-ratio	3,14	2,95
Criterio de Akaike	0,99	0,97

Los dos modelos superan los criterios explicados para elegir entre un modelo general sobre su versión restringida; en efecto, en ambos casos, el F calculado supera los cuatro criterios especificados y, en particular, el criterio de Akaike para muestras grandes. Naturalmente, también son significativo desde el punto de vista de la bondad del ajuste.

Lo anterior apoya la idea de redefinir la ley de Stevens enriqueciendo la variable explicativa con la información que se conoce de cada individuo. Dicho en otros

términos: las percepciones guardan relación, también, con las circunstancias del sujeto y sus características.

3.3.2 Estudio del error en la percepción

A continuación se presenta el estudio del error de percepción definido por la diferencia entre el tiempo percibido por el viajero y el tiempo realmente transcurrido. El objetivo de esta sección es desarrollar un modelo que permita evaluar cuáles son las causas que inciden más en la percepción de los individuos y comprobar si existe cierto patrón en el sentido e intensidad de las mismas.

Así, se define el Error Relativo Absoluto (*era*) como el porcentaje de error del valor percibido por el individuo *n* respecto del valor real.

$$Era_n = \left(\frac{|VR - VP_n|}{VR} \right) 100 \quad (3.9)$$

En la tabla 3.21 se presentan los resultados de la regresión de *Era* respecto de las mismas variables introducidas en el desarrollo de la ley de Stevens del epígrafe anterior.

Tabla 3.21: Error absoluto relativo para el acceso

	Todos acceso	Todos egreso	Tiempo viaje
R²	0,073	0,035	0,102
constante	28,670 (4,08)	52,489 (6,27)	24,886 (18,82)
Escoje ferry lento		-8,223 (-1,22)	16,397 (7,64)
Escoje jetfoil	19,124 (2,80)		-4,684 (-2,61)
Escoje ferry rápido	15,551 (2,02)	6,79 (1,11)	-7,246 (-3,91)
mujer		9,59 (1,55)	
Frecuencia alta		8,840 (1,04)	
Frecuencia media		10,335 (1,52)	
Frecuencia. media y alta			-1,237 (-1,07)
Ingreso alto		-17,034 (-1,32)	-2,151 (-0,91)
Ingreso medio			-2,100 (-1,72)
Ingreso medio y alta	-7,364 (-3,70)		
mayor	19,278 (1,97)	13,982 (1,44)	
maduro	20,981 (3,39)	13,967 (2,14)	
n	460	467	

De todo lo anterior puede inferirse que:

- Los resultados son poco significativos con R^2 notablemente bajas, siendo el modelo para el tiempo de viaje el mejor de todos.
- Las mujeres tienen un error mayor que los hombres, lo cual coincide con Adiv (1983); si bien esto sólo se observa en el error del egreso que es el modelo con el peor ajuste.
- El efecto de la frecuencia del viajero es el esperado en el modelo del

tiempo de viaje donde el error disminuye a medida que aumenta la frecuencia; sin embargo, el signo de esta variable es contraintuitivo en el caso del egreso, si bien, como se ha señalado hay razones para no aceptar estos resultados.

- d. El ingreso puede considerarse una variable cercana a la educación y ésta podría explicar en parte la precisión. Así, parece que el ingreso reduce el error en todos los casos.
- e. La edad parece acentuar los errores como lo prueban los coeficientes estimados en el modelo de acceso.
- f. En el viaje de acceso los errores aumentan respecto del avión si se escoge jetfoil y ferry rápido. En el caso del tiempo de viaje los errores disminuyen respecto del avión en todos los modos excepto en el ferry lento.

En suma resultados lógicos: las variables que disminuyen el error son la frecuencia y la renta –entendida como variable próxima al nivel educativo– y las que aumentan el error son básicamente la edad –al menos en el acceso–

3.4 Análisis del tiempo de espera

El tiempo de espera es una variable fundamental en los estudios de economía del transporte. La espera normalmente se relaciona con la frecuencia de los modos, no obstante, en el caso interurbano el planteamiento es diferente, dado que el individuo conoce de antemano la hora de partida y el tiempo que espera está relacionado con sus hábitos y con la estructura del modo.

Por esta razón, no hay una forma clara de introducir este valor en la modelación. Si bien es fácil calcular el tiempo que espera cada sujeto en el modo que efectivamente elige, no hay forma de asignar un tiempo para los modos que descartó. El objetivo de este epígrafe es determinar la mejor forma de recopilar la información sobre el tiempo de espera, analizando diferentes tipos de pregunta y sus consecuencias. Por otro lado se tratará de buscar un patrón que relacione el tiempo de espera con las características del sujeto, que es la hipótesis con la que abrimos este trabajo.

3.4.1 Formas de recopilar la información sobre el tiempo de espera

En el aeropuerto y en la estación de jetfoil el proceso es diferente respecto de los ferrys, ya que la espera no había concluido cuando se abordó a los entrevistados. Por el contrario, a los viajeros de los ferrys bastaba con preguntarles cuánto esperaron. Por esta razón, en el avión y el jetfoil se probaron diferentes formas de preguntar, que se exponen a continuación:

1. Percepción a futuro: se pregunta ¿cuanto cree que habrá esperado cuando salga su avión (o jetfoil)?
2. Forma mixta: se pregunta cuánto tiempo lleva esperando y se anota ese

- preciso instante, de modo que el encuestador añada posteriormente el tiempo que resta para que salga el avión o el jetfoil que, sumado a los minutos de espera que el sujeto declara, totalizará el tiempo de espera.
3. Se calcula indirectamente a través de la hora que declara haber salido del punto de partida del viaje y el tiempo de acceso que dice haber consumido. Así, el tiempo restante será forzosamente el tiempo de espera.
 4. Medición de la espera de los pasajeros a medida que llegan al aeropuerto/estación de jetfoil.

Como se ha señalado, en el caso de los ferrys simplemente se preguntaba por la espera experimentada, siendo esta pregunta hasta cierto punto equivalente a la (1) ya que se trata de una percepción del tiempo de espera.

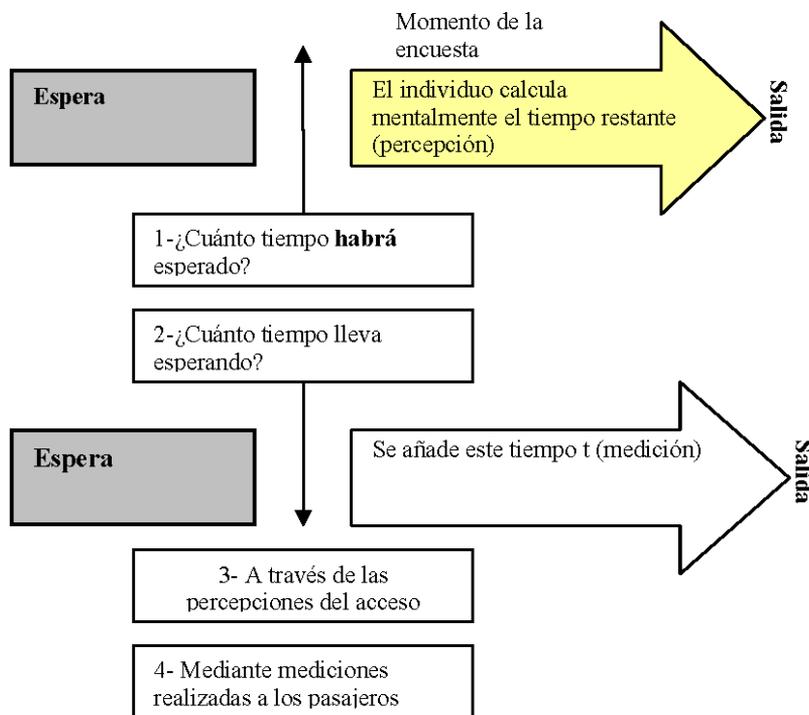


Figura 3.2: Diferentes formas de determinar el tiempo de espera

La figura 3.2 resume las cuatro formas de preguntar: en la pregunta (1) el sujeto debe hacer un esfuerzo mayor que en el caso de los ferrys, pues tiene que calcular el tiempo restante de espera y sumarle el tiempo que lleva efectivamente esperando. Parece que la tipo (2) significa un menor esfuerzo para el sujeto y una mayor precisión, si bien tiene el defecto de que supone mezclar dos tipos de datos.

Resulta interesante intercalar ahora una comparación de resultados del cálculo del tiempo de espera para el avión y jetfoil y así observar las diferencias entre los métodos descritos. La Tabla 3.22 refleja la media del tiempo de espera obtenida con cada uno de los tipos de cálculo descritos en la Figura 3.2.

Tabla 3.22: Distintas medias del cálculo de los tiempos de espera

Tipo de cálculo	Avión		jetfoil	
	Individuos	Media	Individuos	media
1	111	49,6	155	40,7
2	54	64,2	134	56,18
3	177	61,61	-	-
4	314	52	321	37

De esta información se infiere que:

- El tiempo de espera obtenido de la forma mixta -pregunta (2)- es mayor que la percepción pura (1) donde se mezcla la experiencia previa con el cálculo futuro.
- Individualmente, en 3 de los 54 sujetos el método 3 conduce a mayores tiempos de espera. Sin duda el más impreciso aunque aquí pueda no advertirse debido a la mayor cantidad de individuos a los que se les aplicó (3). En (3) parecen sumarse varios errores.
- Se aproxima más la percepción pura que la mixta a la realidad, si consideramos como tal la media de las mediciones. Si la media de las mediciones se considera la realidad, la percepción pura (1) resulta más realista que la pregunta (2).
- Con el método (3) se dilata la espera, pero no se llega a alcanzar la percepción mixta.
- Al correr los modelos con los datos de tipo (1) (percepción a futuro) los t-ratios de los tiempos de espera del avión y el jetfoil son siempre peores que en el caso de los ferrys donde la experiencia de la espera ha concluido y los sujetos no deben esforzarse en imaginar el futuro, sin duda una actividad mental que encierra otro tipo de error.

3.4.2 Espera cronometrada en el avión y el jetfoil

Para recopilar información sobre el tiempo de espera, se encuestó a todos los pasajeros que abordaron el aeropuerto y la estación de jetfoil en los días 21 de noviembre y 6 de junio de 2003 desde el primer al último vuelo. En el caso del jetfoil las encuestas discurrieron durante los días 14 y 26 de junio de 2003. A cada viajero se le formularon dos preguntas: motivo del viaje y año de nacimiento y se obtuvo la siguiente información:

- 1- Una medición precisa del instante en el que abordan la estación / aeropuerto
- 2- Sexo

3- Edad

4- Motivo del viaje

A continuación se describen los resultados del jetfoil, avión y ambos modos conjuntamente.

- *Tiempo de espera del jetfoil*

La Tabla 3.23 y el histograma de la Figura 3.3 describen la distribución de tiempos de espera reportados en las mediciones realizadas para el jetfoil.

Tabla 3.23: Resumen de resultados de la espera para el jetfoil

		Media	Desv	t	N	Moda	mediana	Máximo	mínimo
todos		37,6	15,16	299	60	36	88	13	
sexo	mujeres	41,2	15,77	86	60	39	88	15	
	Hombres	37,6	16	113	60	36	79	13	
Salida a las	7	35,5	14,09	178	60	34	60	13	
	15	43,3	18,34	76	49	43,5	88	15	
	18	36,4	10,45	45	35	36	72	18	
motivo	ocio	45,2	15,84	75	60	45	88	15	
	trabajo	33,2	14,23	82	18	30,5	78	13	
edad	Joven	33,32	13,21	34	25	34,5	88	13	
	Maduro	34,75	13,1	83	24	33	78	13	
	Mayor	38,85	16,78	53	30	39	88	14	

Así, se observa que:

- Los que salen a las siete de la mañana procuran esperar menos por lo costoso que resulta llegar antes (a costa de tiempo de descanso).
- Las mujeres esperan más que los hombres.
- El grupo más numeroso son los viajeros de las siete de la mañana.
- Los mayores esperan más, quizá porque disponen de más tiempo, quizá por un mayor sentido de la responsabilidad o una mayor paciencia.
- La idea de que los jóvenes esperan menos se refuerza con la moda que, sorprendentemente, es de 25 minutos.
- También se comprueba que la espera es mayor en los viajes por motivo de ocio, lo que podría responder a la mayor disponibilidad de tiempo en los viajes de ocio y a otras razones; quizá en un viaje al trabajo la ruta es conocida y los sujetos se ajustan más en el tiempo o quizá, simplemente, el tiempo es menos valioso durante el tiempo de ocio y por eso se utiliza con más profusión.

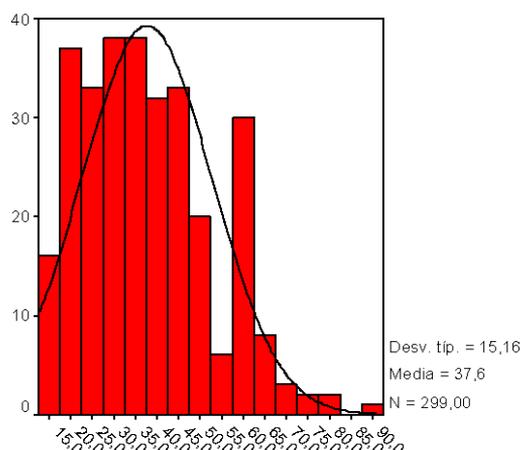


Figura 3.3: Histograma del tiempo de espera del jetfoil (medido)

• *Tiempo de espera del avión*

La Tabla 3.24 y el histograma de la Figura 3.4 representan la distribución de las mediciones del tiempo de espera en el aeropuerto. Para todos los sujetos, en la espera del avión se registra una amplia varianza. La mediana está ligeramente por debajo de la media, pero, no obstante, puede afirmarse que la distribución es aproximadamente simétrica. El valor más repetido, la moda, es 36, mientras que la media es de casi 52 minutos. Hay que considerar la presencia de valores extremos que desplazan la distribución hacia arriba. En efecto, el valor máximo es 168 minutos –que parece un tiempo de espera excesivo para un vuelo regional- y el mínimo de 15.

Tabla 3.24: Resumen de resultados de la espera para el avión

		Media	Desv t	N	moda	mediana	Máximo	mínimo
	todos	51,91	21,43	308	36	48,5	168	15
Sexo	mujeres	54,86	22,76	93	56	51	168	24
	Hombres	50,44	21,04	202	36	46	148	15
Salida de	mañana	45,07	18,88	66	30	40,5	105	15
	tarde	51,56	16,98	101	43	51	111	18
	Noche	55,36	24,56	141	40	51	168	21
motivo	ocio	52,17	19,89	104	35	50,5	168	16
	trabajo	51,72	22,39	201	36	46	148	15
edad	Joven	54,48	16,38	50	56	53,5	104	21
	Maduro	50,8	22,63	179	35	46	168	15
	Mayor	51,97	15,89	42	36	50,89	84	18

Por lo demás, del análisis de la tabla 3.24 se concluye lo siguiente:

- De nuevo, se observa que los que salen temprano en la mañana esperan menos. También se confirma con los máximos y mínimos, que resultan mayores en las salidas al mediodía o por la noche. En definitiva: esperar

por la mañana es más costoso porque supone levantarse más temprano.

- Los viajes con motivo de ocio esperan un poco más; esto se observa por la media, pero sobre todo por el máximo y mínimo, siendo ambos más pequeños en el caso de viajes al trabajo. En general, esto viene a significar que en los viajes de ocio el tiempo no es tan escaso, tan valioso quizá y por eso se gasta un poco más. Es una actitud racional.
- En el caso de la edad nos encontramos con una estructura diferente a la del jetfoil: en efecto, aquí se observa que los jóvenes son los que esperan más. Los individuos de edades intermedias manifiestan una mayor varianza así como la menor media, pero hay que considerar que son los más numerosos.
- El criterio hora de la salida es el que da lugar a una mayor varianza: de 45 minutos para los que salen por la mañana a los 55,36 los de la tarde.

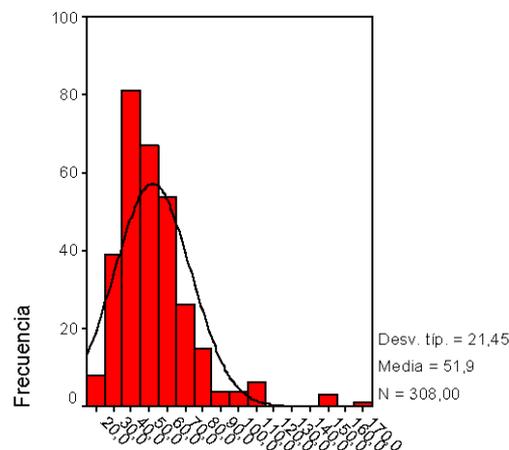


Figura 3.4: Histograma del tiempo de espera del avión (medido)

- *Análisis conjunto de la espera avión-jetfoil*

Tabla 3.25: Espera para el avión y el jetfoil conjuntamente

		Media	Desv t	N	moda	mediana	Máximo	mínimo
todos		44,88	19,92	607	60	42	168	13
sexo	M	46,13	18,8	144	60	45	148	15
	H	45,82	20,32	315	60	42	148	13
Salida a las	7	38,12	16,06	244	60	36	105	13
	15	48,02	17,99	177	48	48	111	15
	18	50,77	23,42	186	40	46	168	18
motivo	ocio	49,24	18,58	179	60	47	168	15
	trabajo	46,35	22,01	283	36	42	148	13
edad	Joven	44,93	18,62	76	46	43	104	13
	Maduro	45,29	21,86	231	33	41	168	13
	Mayor	44,17	18,38	84	40	41	88	14

La Tabla 3.25 muestra los resultados para los dos modos. Se repiten algunas de las características descritas anteriormente, si bien en algunos casos se suavizan y en

otros se refuerzan. Por ejemplo, la diferencia entre hombres y mujeres se estrechan mientras la idea de que los que madrugan esperan menos se intensifica. De nuevo: esperan más los que viajan por motivos de ocio que los de trabajo y las diferencias entre edad parecen muy reducidas.

- *Modelación del tiempo de espera con datos medidos*

Con los datos anteriores se procedió a estimar regresiones que relacionasen la información socioeconómica que se dispone de los individuos con el tiempo de espera. La tabla 3.26 resume los resultados de esta modelación.

Tabla 3.26: Resultados de la modelación del tiempo de espera

	jetfoil	avión	Avión-jetfoil
R²	0,124	0,034	0,180
constante	23,85 (6,75)	45,07 (17,31)	33,456 (14,99)
Salida mediodía	5,42 (2,17)	6,48 (1,93)	4,94 (2,05)
Salida tarde-noche	3,49 (1,27)	10,28 (3,26)	5,34 (2,26)
Motivo trabajo	-	-	-2,71 (-1,37)
Motivo ocio	6,82 (2,87)	-	-
edad	0,186 (2,65)	-	-
Maduro	-	-	-
Mayor	-	-	2,97 (1,26)
Mujer	-1,882 (-0,82)	-	-
Avión	-	-	16,08 (7,79)
N	299	308	607
F tabulada	3,02	4,61	3,02

Todos los modelos expuestos arriba son estadísticamente significativos, siendo el modelo que agrupa a todos los individuos el que mejores estadísticos tiene. De las variables explicativas, la variable *modo avión* es la más importante, atendiendo a su t-ratio; además, dado su signo, parece indicar la forma particular que tiene el acceso de este modo, obligando a esperar más que en el jetfoil. En coincidencia con los resultados descritos anteriormente, la edad parece ser un factor que induce a una mayor espera. Igualmente, se espera más si se sale al mediodía o por la noche en comparación con la mañana ya que, como se ha señalado, esperar por la mañana puede significar reducir el tiempo de descanso. Por otro lado, en los viajes al trabajo se espera menos; esto podría indicar una mayor valoración del tiempo en el contexto del trabajo y también, si estos viajes son rutinarios, una mejor adaptación a la estructura del modo y una mayor familiaridad con ese acceso.

3.4.3 Espera basada en las declaraciones de los viajeros

Aquí se analizan simplemente percepciones de la espera del modo elegido y de los otros, teniendo en cuenta que en el caso del avión y el jetfoil, los datos corresponden a la pregunta (1) en la que el individuo debía concebir parte de una espera que todavía no había tenido lugar.

Las tablas 3.27 y 3.28 se resumen las medias del tiempo de espera para todos los modos. En la segunda tabla se normalizan los resultados usando las percepciones de los usuarios correspondientes, lo que permite detectar los sesgos de los no usuarios.

Tabla 3.27: Percepción del tiempo de espera

T. espera según	Avión (N)	Jetfoil (N)	Ferry r (N)	Ferry l (N)
Usuarios Avión	49,60	26,19	25,48	No hay datos
Usuarios Jetfoil	51,04	40,72	33,35	39,66
Usuarios Ferry rápido	44,00	18,24	27,05	17,09
Usuarios Ferry lento	31,81	23,76	30,83	48,61
Todos	45,61	28,39	29,78	34,93

Tabla 3.28: Percepción del tiempo de espera normalizadas

T. espera según	Avión (N)	Jetfoil (N)	Ferry r (N)	Ferry l (N)
Usuarios Avión	100,00%	64,32%	94,20%	-
Usuarios Jetfoil	102,90%	100,00%	123,29%	81,59%
Usuarios Ferry rápido	88,71%	44,79%	100,00%	35,16%
Usuarios Ferry lento	64,13%	58,35%	113,97%	100,00%
todos	91,96%	69,72%	110,09%	71,86%

Así, se observa que el avión y el jetfoil son minusvalorados por los usuarios de los ferrys, en particular los del ferry lento. En el caso del jetfoil, todos consideran que la espera es menor de la realidad mientras que en el ferry rápido sucede exactamente lo contrario. En este último caso la precisión de las percepciones es considerable, pues la discrepancia no es mayor del 23%. Finalmente, el ferry lento, los no usuarios piensan que la espera es menor que la realidad.

La Tabla 3.29 lista los resultados de todos los modos agregados pero desglosados considerando las variables SE. De nuevo, confirmamos factores que se observaron en el caso de la espera cronometrada pero, además, se encuentran otros:

- Las mujeres esperan más que los hombres
- Los viajeros de alta frecuencia esperan menos que los otros, lo que viene a indicar una mayor adaptación al medio que les permite reducir la espera, ya que en este caso la información del viajero es superior y puede ajustar todo el proceso de acceso y espera de forma más eficiente.
- El ingreso refleja cierta inconsistencia. A priori esperaríamos que mayor ingreso implicase una menor disponibilidad a esperar, sin embargo al pasar de la renta media a la alta el tiempo de espera aumenta. No obstante, en este caso la desviación típica es considerablemente superior y la moda duplica a la media, de modo que el problema puede deberse a que la distribución de las rentas más altas contiene algunos valores excesivos que aumentan la media.
- Como se señaló antes, para el caso del avión y jetfoil se confirma la idea que se espera menos en los viajes al trabajo.
- Los jóvenes esperan menos que los maduros y éstos menos que los mayores.

- f. Viajar acompañado de niños no ofrece apenas diferencia con los viajeros que van solos.

Tabla 3.29: Tiempo de espera para todos los modos conjuntamente

		Media	Desv t	N	moda	mediana	Máximo	mínimo
todos		38,55	28,80	695	30	30	240	1
frecuencia	Baja	40,17	27,47	406	30	30	240	1
	alta	36,29	30,47	289	30	30	240	1
sexo	H	37,00	23,94	422	30	30	180	1
	M	41,35	35,11	268	30	30	240	1
ingreso	bajo	44,46	30,79	267	30	40	240	2
	medio	34,00	25,27	379	30	30	240	1
	alto	41,63	36,63	49	60	30	225	1
motivo	ocio	39,50	29,29	452	30	30	240	1
	trabajo	36,57	27,67	242	30	30	180	2
edad	Joven	37,72	27,53	308	30	30	240	1
	Maduro	38,25	27,09	293	30	30	240	2
	Mayor	42,24	36,96	94	30	30	225	5
acompañado	De niños	38,40	22,54	22	30	30	100	10
	No acompañados	38,17	28,54	619	30	30	240	1

Finalmente, es preciso realizar un modelo, de la forma en que se hizo anteriormente para el avión y jetfoil, relacionando la espera con el las características de los viajeros (espera del modo elegido). Los resultados de esta modelación se muestran en la Tabla 3.30

Tabla 3.30: Modelación de esperas experimentadas por los usuarios*

	todos	Avión	Jetfoil	Ferry rápido	Ferry lento
R²	0,126	0,016	0,070	0,110	0,035
constante	44,87 (12,84)	36,72 (4,76)	42,46 (19,37)	28,30 (8,23)	47,68 (28,32)
jetfoil*	-1,52 (-0,41)	-	-	-	-
ferry r*	-16,33 (-5,07)	-	-	-	-
ferry l*	3,66 (1,04)	-	-	-	-
Ingreso med	-	-	-	-10,58 (-2,64)	-
Ingreso alto	-	-	-	-14,48 (-1,43)	-
Ing med y alt	-7,53 (-3,23)	-9,22 (-1,15)	-	-	-
Va al trabajo	-	-	-	6,08 (1,48)	13,42 (1,87)
Va con niños	3,15 (1,69)	-12,09 (-0,95)	6,32 (1,39)	17,42 (4,48)	-2,10 (-1,19)
Mayor	5,70 (1,83)	16,34 (1,79)	4,68 (1,10)	-	7,08 (1,29)
mujer	18,24 (2,15)	19,58 (2,53)	-	-	-
Frec media	-	-	-6,97 (-1,92)	-	-
Alta frec.	-	9,28 (1,16)	-7,00 (-1,58)	7,74 (1,56)	-
n	943	308	235	230	170

(*) Se normaliza con el avión

Salvo el ferry rápido, ninguno de los modelos estimados por modo resulta estadísticamente significativo.

Atendiendo a los resultados para todos los modos se infiere que

- a. Los modelos con esperas medidas son mejores atendiendo a su R^2 .
- b. Escoger otros modos, distintos del avión, implica esperar menos salvo en el caso del ferry lento.
- c. Se espera menos a medida que aumenta la renta, siendo esta variable altamente significativa.
- d. Ser mujer, acompañado de niños y mayor significa, de acuerdo con el modelo, esperar más. El efecto mujer es el que parece más intenso de acuerdo con el tamaño del coeficiente.
- e. Si consideramos esta modelación como una prueba de la calidad de la información introducida, podríamos deducir que la calidad de los datos medidos en el caso del avión y del jetfoil supera a la de los datos percibidos.

Hasta cierto punto podría admitirse la hipótesis de que el tiempo de espera está relacionado con las características del individuo, sus costumbres y la estructura propia del modo. Probablemente sean necesarias más variables para explicar el tiempo de espera, pero, en todo caso resulta interesante explicarlo de este modo.

3.5 Conclusiones sobre el análisis de datos

La descripción de los datos de la muestra describe un mercado dominado por los tres modos principales (avión, jetfoil y ferry rápido), en el que los dos primeros comparten ciertos rasgos: ambos se dirigen a un mercado de mayor disposición a pagar, viajeros solos en su mayor parte, por motivos de trabajo o negocios y edad un poco más alta que en los ferrys. Por otro lado, la mejor accesibilidad del jetfoil compensa su duración y lo iguala con el avión.

Los ferrys parecen medios más gregarios, donde se concentran la mayoría de los viajes acompañados. Aunque son más baratos, el ferry rápido también comparte ciertos rasgos con el avión y el jetfoil, lo que se advierte en el perfil de sus clientes y en los motivos de viaje. El ferry lento es claramente el modo de los coste-preferentes, mientras que los otros tres se reparten la mayoría del mercado y vendrán determinados por las diferentes preferencias de los pasajeros respecto del ahorro en tiempo de acceso o en tiempo de viaje, la comodidad y otros aspectos de la oferta.

En general se observa que la calidad de la información y, por tanto, los modelos que de ella se deriven, depende notablemente de la forma de la pregunta; esto es, si se hace con respecto a experiencias reales que se acaban de vivir, sobre futuros viajes o sobre variables de modos que no ha escogido. El nivel de esfuerzo y, por tanto, de estrés de los sujetos, se eleva a medida que nos alejamos de la realidad inmediata y el número de casillas en blanco o con valores absurdos crece.

También se comprueba que resulta extraordinariamente difícil obtener respuestas que supongan un esfuerzo mental para el encuestado. En particular, las preguntas sobre los modos alternativos fracasaban cuando se inquiría sobre el acceso a esos modos y la necesidad de concebir un viaje que aún no se había realizado. Se observaron reglas de simplificación, como, por ejemplo, hacer extensivo el modo usado en el acceso para el viaje que realizaron a los otros modos; facilitar todos los tiempos percibidos en múltiplos de cinco o diez (Ampt *et al*, 2000; Simon, 1990) y signos de fatiga que obligaron a recortar el cuestionario.

En general, las diferentes circunstancias en las que se hicieron las encuestas (a bordo y en la espera) afectaron a los datos y esto no es una cuestión trivial. Durante el viaje el sujeto no debe estar alerta en absoluto y la encuesta aparece como una oportunidad para entretenerse mientras que en la estación del jetfoil o en el aeropuerto, el encuestado debe compartir su atención con una mínima vigilancia del momento de partida.

Respecto del estudio sobre el tiempo de espera, se concluye que hasta cierto punto se podría aceptar la hipótesis de que este tiempo depende sobre todo del individuo y, en parte, de la estructura del modo. A este respecto se comprueba que es difícil explicar la espera a partir de las variables explicativas reportadas, si bien se puede observar cierto patrón cuya modelación destaca como variables significativas que aumentan el tiempo de espera, escoger avión o ferry lento, ser mujer e ir acompañado de niños. Por otro lado, como variable que reduce el tiempo de espera nos encontramos con el ingreso. Más allá de los modelos, la simple observación de los datos revela que también esperan menos los viajeros frecuentes, los jóvenes y los que acuden a salidas por la mañana.

Sorprendentemente las conjeturas sobre los tiempos de espera y tiempo de viaje que los viajeros de otros modos hacen sobre cierto modo no se alejan demasiado de la realidad. No obstante se detectan sesgos: los modos rápidos son percibidos como más rápidos de lo que son e inversamente, a los modos lentos se les atribuye mayor duración de la que en realidad tienen.

Se estimaron los coeficientes del modelo de Stevens para el tiempo de viaje y para el tiempo de acceso y egreso desagregado también por coche y autobús. La mayoría de los valores encontrados se localizaron dentro del rango de los históricamente reportados. Las estimaciones resultaron robustas y sus resultados ponen de manifiesto la peor calidad de los datos del tiempo de egreso en relación con el de acceso. Por otro lado, se ha constatado que es posible mejorar estos modelos añadiendo más variables explicativas procedentes de los datos SE, en una especie de versión ampliada de la ley de Stevens.

También se desarrollaron modelos que sugieren la existencia de cierta estructura en el error de percepción que señala cómo, en el caso del acceso, los errores aumentan con la edad y el viaje en ferry rápido y jetfoil, mientras que disminuyen con la renta. En el tiempo de viaje, el error disminuye con la renta, la frecuencia del

viajero y en los modos ferry rápido y jetfoil. Parece pues que la renta reduce el error de percepción en todos los casos, así como la frecuencia del viajero; estos resultados, como se ha explicado, son bastante previsibles.

Como recomendación para otros estudios, según los recursos de que dispongan, sería aconsejable usar la media de las esperas experimentadas, tal vez pormenorizadas por casos, dado que, como hemos visto, el tiempo cronometrado no difiere tanto y, en algunos casos, son iguales. Por otro lado, dado que los resultados también sugieren que la calidad de los datos del egreso pudiera ser inferior que la del acceso, es mejor estudiar ambos viajes separadamente. También sería deseable restringir las preguntas al modo elegido, en particular al viaje que acaba de realizar, y abordar al encuestado cuando se encuentra totalmente relajado y no está pendiente del embarque, esto es, durante el propio viaje.

4 Modelación

El objetivo de este capítulo es estimar una batería de modelos que refleje adecuadamente la demanda objeto de estudio para poder ser utilizados en la siguiente fase donde se determinan los resultados finales (cálculo del valor del tiempo, análisis de sensibilidad, elasticidades y validación). Paralelamente se efectuará una discusión sobre la utilización de datos de tiempos de viaje basados en mediciones o percepciones y su efecto sobre los modelos. Como es lógico, partiremos de los modelos más sencillos: MNL; a continuación modelos MNL con interacción entre las variables socioeconómicas (SE) y las variables de nivel de servicio y, finalmente, se analizarán los modelos ML.

Para todo el trabajo se ha partido de la hipótesis de que el avión y el jetfoil comparten ciertas características y se dirigen a mercados afines. En efecto, ambos modos parecen las opciones más rápidas para conectar ambas capitales, principales puntos de origen y destino (debe aquí considerarse aquí que nos estamos refiriendo al viaje completo, sumando tiempos de acceso y egreso). Por otro lado en ambos casos nos encontramos con un ritual de espera y acceso similar –con un edificio terminal- y el propio viaje refleja ciertas semejanzas –los pasajeros deben utilizar el cinturón de seguridad y su movimiento está más restringido, a diferencia de los ferrys-. Por último, esta relación entre estos modos ha sido probada en el pasado (González y Ortúzar, 2002).

4.1 Modelos MNL

Dentro de esta categoría se probaron dos tipos de modelos: con datos percibidos y con datos medidos. Además, inicialmente se plantean los modelos más sencillos para posteriormente introducir las variables Socioeconómicas (SE).

4.1.1 Modelos MNL sin variables SE

4.1.1.1 Definición de las variables

Para ambos tipos de modelaciones (con datos percibidos y medidos) se seleccionaron las mismas variables. Como es sabido, las constantes modales –específicas por modo- recogen el efecto de todos aquellos factores que el modelo ignora. Con frecuencia es una forma de absorber el efecto de la comodidad, la seguridad y otros aspectos que las variables básicas de servicio no son capaces de explicar. Como el modelo trabaja en diferencias, sólo son necesarias tres constantes, eligiéndose como referencia al avión, cuya constante sería cero. El resto de las variables se describen a continuación:

1) Variables de coste

- *Tarifa av-jf*: tarifa del avión y el jetfoil
- *Tarifa ferrys*: tarifa de los dos ferrys
- *Gasto aceg*: gasto de acceso y egreso.

Nótese que las variables de coste presentadas aquí no guardan relación con la renta del individuo. Aunque pueda introducirse la renta a través de las variables SE, resulta conveniente probar la utilización de la tasa de gasto (Jara-Díaz y Farah, 1987), definida como el cociente $I/(T)$ siendo I el ingreso del sujeto y T el tiempo libre disponible para gastar ese dinero (se obtiene descontando las horas de trabajo de las horas de vigilia). Sin embargo, los modelos probados con esta variable, si bien correctos en sus estadísticos y signos, son sensiblemente peores que los que aquí se presentan²⁵.

De acuerdo con los t-ratios de los coeficientes estimados, la especificación más correcta consiste en desdoblarse los factores del coste entre tarifa y gasto -empleado en el acceso y el egreso- y, a su vez, separar las tarifas en las del avión-jetfoil y ferrys. Esta estructura podría justificarse desde el punto de vista de la disposición al pago de los grupos a los que van dirigidos esos modos toda vez que el estimador de la tarifa en el caso del avión-jetfoil es aproximadamente la mitad del valor correspondiente a los ferrys.

El gasto incluye costes que no se perciben en el día a día como el de la gasolina, mantenimiento del coche y otros que constituyen pagos directos, como un taxi, autobús o parking. Parece lógico separar estos desembolsos del coste del modo principal -la tarifa- dado que éste último es más importante y está más vinculado a la elección.

2) Variables de tiempo del modo principal

- *tv av-jf*: tiempo de viaje del avión y el jetfoil
- *tv av*: tiempo de viaje del avión
- *tv jf*: tiempo de viaje del jetfoil
- *tv ferry*: tiempo de viaje del ferry (los dos)
- *tv ferry r*: tiempo de viaje del ferry rápido
- *tv ferry l*: tiempo de viaje del ferry lento

De nuevo, partiendo de un coeficiente genérico del tiempo, se prueba la introducción de coeficientes específicos en el modo principal. Es posible considerar, de acuerdo con la argumentación anterior, que el tiempo de viaje en avión y jetfoil comparten ciertas características (percepción de la seguridad, limitación de movimientos) que los hacen apropiados para compartir el coeficiente.

²⁵ Lo que podría explicarse porque no se recabó información directa sobre el número de horas de trabajo de los entrevistados.

Los viajes en ferry, en cambio, permiten una amplia libertad de movimientos y los pasajeros pueden entretenerse con otras actividades tales como el paisaje, el desplazamiento dentro del barco, la cafetería, la tienda y otras ocupaciones recreativas que aminoran la desutilidad del viaje. Por otro lado, dentro de los ferrys hay sensibles diferencias: el ferry lento tiene un entorno menos agradable y menos atractivo que el ferry rápido, dado su peor diseño y las posibilidades, más restringidas, de entretenerse (por ejemplo, el ferry lento no tiene una tienda).

3) Resto de las variables: tiempo de acceso y egreso, espera y frecuencia

- *tv aceg*: tiempo de viaje de acceso y egreso
- *freq*: frecuencia, definida como número de expediciones por día
- *t espera*: tiempo de espera en las estaciones de partida (aeropuertos, puertos y estación de jetfoil)
- *t espera av-jf*: tiempo de espera del avión y el jetfoil
- *t espera ferrys*: tiempo de espera ferrys
- *freq inversa*: inversa de la frecuencia

Resulta apropiado desdoblarse el coeficiente del tiempo de espera en el del avión-jetfoil y los ferrys. Hay que tener en cuenta que el jetfoil dispone de una estación, que es un edificio amplio, luminoso y agradable que resulta como un trasunto de un aeropuerto a pequeña escala. Cuenta además con cafetería, tiendas y los materiales elegidos recuerdan, hasta cierto punto, a un aeropuerto. También dispone de un edificio de aparcamientos anejo. Esperar, en esas circunstancias, resulta menos penoso que hacerlo a la intemperie como sucede, partiendo de Las Palmas o de Agaete²⁶, en el caso de los ferrys. Las posibilidades de distracción, interacción humana y la protección frente a las contingencias del tiempo hacen que la espera dentro del aeropuerto y la estación de jetfoil sea menos desagradable que en el caso de los ferrys si consideramos el viaje partiendo de Gran Canaria.

Respecto de la frecuencia, es posible considerar que su efecto sobre la utilidad guarde una relación no lineal, reflejando el hecho de que aportaciones marginales de mayor frecuencia irán atenuando progresivamente su influencia en la utilidad. Se probaron así frecuencias al cuadrado pero no reportaron mejoras significativas. En los modelos aquí expuestos se prueban dos relaciones: directa, es decir, definida como número de expediciones al día, e inversa como la razón inversa de esa cifra.

Como ya se ha explicado, la variable tiempo de acceso y egreso agrupa un racimo de tiempos de viaje relacionados con el acceso y egreso hacia y desde las estaciones de los modos principales. La posibilidad de desagregar esta variable en sus componentes elementales no dio buen resultado. Por otro lado, si bien se estimaron modelos con acceso y egreso separados, se observó que el último manifestaba problemas de significación. Esto se debe a la forma en la que se

²⁶ En el puerto de Santa Cruz, los ferrys sí disponen de una sala de espera agradable y parecida a la estación del jetfoil, junto al muelle. No obstante, hay que tener en cuenta que la mayoría de las encuestas se hicieron a viajeros que partían de Gran Canaria.

recopiló la información para esta variable. En efecto, a los pasajeros se les pidió un relato preciso del viaje que acaban de realizar para acceder a las estaciones y puertos de partida. Sin embargo, para el viaje posterior –el egreso– que les llevaría a su punto de destino, las omisiones de información o la tendencia a la simplificación produjeron una calidad menor en la información. Este resultado es lógico si se considera que el pasajero debe hacer un esfuerzo mayor al concebir un viaje futuro que al relatar uno reciente. La tendencia a evitar el esfuerzo de pensar hace que las respuestas se simplifiquen, se minimicen trayectos, se omitan modos y, en general, se facilite una información menos confiable que la del acceso.

4.1.1.2 Modelos estimados: datos basados en percepciones

La Tabla 4.1 presenta los mejores modelos MNL estimados²⁷. Estos resultados confirman la conveniencia de separar la variable coste en tres componentes, reflejando la diferente sensibilidad de los dos mercados (el de los ferrys por un lado y el del avión-jetfoil por otro) y la mayor importancia concedida a la tarifa frente al gasto de acceso y egreso. Esta división se subraya en la alta significatividad de algunos coeficientes, con t-ratios del orden de 7.

Los resultados, por otro lado, sugieren tres especificaciones para el tiempo de viaje: dividiéndolo en dos: avión-jetfoil y ferrys; en tres (avión, jetfoil y ferrys) y finalmente en cuatro. En este último caso (MNL-4) todos los coeficientes son significativos y muestran una jerarquía de niveles para la utilidad marginal del tiempo de: avión > jetfoil > ferry rápido > ferry lento. Esto confirma la mayor importancia dada al tiempo de viaje por los viajeros de los dos modos rápidos, importancia que va decayendo a medida que nos desplazamos a los ferrys hasta llegar al ferry lento. Por otro lado, también aquí se reflejan las posibilidades de movimiento y recreación que ofrecen los viajes en ferry, reduciendo la intensidad de la desutilidad del viaje.

El tiempo de acceso es significativo en todos los modelos y alcanza una importancia similar a la del ferry lento. La frecuencia, en su forma directa –número de expediciones–, se encuentra rozando la significación del 95% con t-ratios cercanos a 1,7. La frecuencia inversa se observa en el MNL-5 y su significación es ligeramente inferior de lo que podría inferirse que es mejor un modelo que considere una relación directa.

Finalmente, es interesante observar que el tiempo de espera confirma la idea de que existe distinta valoración de las esperas para el avión-jetfoil por un lado y para los ferrys por otro. Dado que el coeficiente de la espera en ferrys es cinco veces superior a la del avión-jetfoil, se infiere que la espera en las estaciones del jetfoil y el aeropuerto es sensiblemente menos desagradable que en el caso de los ferrys. No

²⁷ Todos los modelos MNL fueron estimados con ALOGIT 3.2

obstante, hay que tener en cuenta que el coeficiente de la espera avión-jetfoil sólo es significativo al 90%.

Tabla 4.1: Modelos MNL: datos percibidos²⁸

Coefficientes	MNL-1	MNL-2	MNL-3	MNL-4	MNL-5
Tarifa av-jf	-0,120 (-7,3)	-0,121 (-7,3)	-0,1187 (-7,1)	-0,1238 (-7,3)	-0,1187 (-7,1)
Tarifa ferrys	-0,287 (-7,1)	-0,276 (-6,6)	-0,2844 (-6,6)	-0,2779 (-6,4)	-0,2844 (-6,6)
Gasto aceg	-4,44E-02 (-2,6)	-4,46E-02 (-2,6)	-4,37E-02 (-2,5)	-4,17E-02 (-2,4)	-4,37E-02 (-2,5)
tv av-jf	-2,80E-02 (-4,7)	-2,99E-02 (-4,6)			
tv av			-4,87E-02 (-2,2)	-6,68E-02 (-3)	-4,87E-02 (-2,2)
tv jf			-3,65E-02 (-3,8)	-4,48E-02 (-4,4)	-3,65E-02 (-3,8)
tv ferry	-6,21E-03 (-3,1)				
tv ferry r		-1,27E-02 (-1,9)	-1,75E-02 (-2)	-1,65E-02 (-1,9)	-1,75E-02 (-2)
tv ferry l		-7,02E-03 (-3,1)	-8,85E-03 (-2,9)	-7,22E-03 (-2,3)	-8,85E-03 (-2,9)
tv aceg	-9,77E-03 (-3,3)	-9,15E-03 (-3,1)	-9,44E-03 (-3,1)	-9,75E-03 (-3,2)	-9,44E-03 (-3,1)
Freq	5,21E-02 (1,5)	5,30E-02 (1,5)	5,38E-02 (1,5)	6,22E-02 (1,7)	
t espera	-3,24E-02 (-4,7)	-3,36E-02 (-4,8)	-3,33E-02 (-4,8)		-3,33E-02 (-4,8)
T espera av-jf				-1,44E-02 (-1,7)	
T espera ferry				-5,76E-02 (-5,6)	
freq inversa					-1,830 (-1,5)
Cte. jetfoil	1,967 (3,2)	2,070 (3,3)	2,048 (3,3)	2,546 (3,9)	1,797 (3,6)
Cte. ferry r	1,637 (2,5)	1,819 (2,7)	1,820 (2,7)	2,54 (3,6)	1,426 (2,5)
Cte. ferry l	0,432 (0,6)	0,450 (0,7)	0,409 (0,6)	1,479 (2)	0,4092 (0,6)
l(θ)	-434,4891	-433,9618	-433,5304	-426,8065	-433,5304
$\rho(0)$ ²⁹	0,1526	0,1536	0,1545	0,1676	0,1545
$\rho(\text{cte})$	0,1379	0,1389	0,1398	0,1531	0,1398

De los modelos expuestos en la Tabla 4.1 el mejor es el MNL-4 dado que el valor de su función de verosimilitud³⁰ es el más alto, y por tanto, el más próximo al óptimo. Por otro lado, si se aplica el test de la razón de verosimilitud descrito en el capítulo 2 (ecuación 2.8) para discernir entre los otros modelos, los modelos MNL-2 y MNL-3 no superan el modelo restringido MNL-1, tal y como se muestra en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: test de la razón de verosimilitud

	l(θ)	LR	m-n ³¹	t-student
MNL-1	-434,4891			
MNL-2	-433,9618	1,054	1	3,8415
MNL-3	-433,5304	1,917	3	5,9915

²⁸ En lo sucesivo y, para todas las tablas, los t-ratios aparecerán entre paréntesis.

²⁹ $\rho(0)$ y $\rho(\text{cte})$ se corresponden con los estadísticos (2.28) y (2.29) respectivamente, descritos en la página 56. Su valor se encuentra comprendido entre cero y uno, significando uno un ajuste perfecto y cero el peor ajuste posible.

³⁰ La función de verosimilitud, extintamente hablando, es el logaritmo de la verosimilitud, cuya expresión se explicó en el capítulo 2.

³¹ n es el número de parámetros del modelo restringido y m el del modelo general

El estadístico LR distribuye como una χ^2 con l grados de libertad; siendo l igual al número de restricciones lineales del modelo restringido respecto del general. En este caso el modelo 1 introduciría dos restricciones lineales sobre el 2 y 3, ninguno de los cuales permite superar la correspondiente χ^2 .y, por tanto, se acepta la hipótesis nula de que el modelo general es igual que el restringido. Así pues, dentro de esta categoría y, en lo sucesivo, se utilizarán los modelos 1 y 4.

4.1.1.3 Modelos con datos medidos

Los modelos presentados en el acápite 4.2.1.2 consideran el TV del modo principal basado en las percepciones de los sujetos, tal y como se explicó en el capítulo 2. La Tabla 4.3 presenta las estimaciones realizadas considerando medidas ingenieriles de los tiempos de viaje³².

A este respecto se plantearon dos especificaciones que se corresponden con los modelos MNL-1 y 2. Nótese que estos modelos, en comparación son sus pares de la Tabla 4.1, son peores: en efecto, los estimadores de los modelos MNL-1 y 2 - basados en datos percibidos-, tienen mejores t-ratios y también mejor verosimilitud. Esta superioridad de los modelos con datos percibidos sobre los modelos con datos medidos se mantiene en todo el trabajo.

Tabla 4.3: MNL con datos medidos

Modelos	MNL-1	MNL-2
Tarifa av-jf	-0,1166 (-7,1)	-0,117 (-6,9)
Tarifa ferrys	-0,2773 (-6,9)	-0,2754 (-6,4)
Gasto aceg	-4,54E-02 (-2,6)	-4,55E-02 (-2,6)
tv av-jf	-2,45E-02 (-4,4)	-2,49E-02 (-4)
tv ferry	-5,18E-03 (-2,5)	
tv ferry r		-6,25E-03 (-0,7)
tv ferry l		-5,37E-03 (-2,1)
tv aceg	-9,57E-03 (-3,3)	-9,48E-03 (-3,1)
Freq	4,76E-02 (1,3)	4,76E-02 (1,3)
t espera	-3,24E-02 (-4,7)	-3,26E-02 (-4,7)
Cte. Jetfoil	1,494 (2,6)	1,509 (2,6)
Cte. ferry r	1,496 (2,3)	1,513 (2,3)
Cte. ferry l	0,1973 (0,3)	0,2037 (0,3)
$l(\theta)$	-436,9584	-436,9514
ro (0)	0,1478	0,1478
ro (cte)	0,133	0,133

4.1.2 Modelos MNL con variables socioeconómicas

A continuación se analiza la variación sistemática de los gustos a través de la interacción de las variables SE con las variables del modelo. Con este objetivo, se

³² Se entiende por tales, las provenientes de cronometrajes realizados *ad hoc* cuyos valores se expusieron en el capítulo 3.

sigue el método descrito en Rizzi y Ortúzar (2003) y propuesto por Fowkes y Wardman (1988), en que las variables socioeconómicas se introducen a través de coeficientes específicos que ponderan los atributos multiplicados por variables mudas, como se ilustra en la ecuación (4.1).

$$V_{in} = \left(\alpha_0 + \sum_l \alpha_l s_{ln} \right) t_{in} + \left(\beta_0 + \sum_l \beta_l s_{ln} \right) c_{in} + \left(\gamma_0 + \sum_l \gamma_l s_{ln} \right) f_{in} \quad (4.1)$$

Donde s_{ln} representa la variable muda del atributo socioeconómico l para el individuo n ; α_0 representa el estimador del coeficiente del tiempo para el nivel básico de la variable SE (cuando su valor es cero) y α_l representa el estimador específico para el grupo representado en l . Similar definición se aplica para los coeficientes del coste c y para f que representa el resto de los atributos de la función.

Las variables SE que resultan más relevantes en la búsqueda de la mejor especificación fueron: ingreso (tres niveles), frecuencia del viajero (tres niveles), edad (tres niveles), sexo, motivo del viaje (trabajo y otros) y, finalmente, si el viajero va o no acompañado de adultos. Los niveles de estas variables se definen de la siguiente forma:

- a) Ingreso: Mensual y por persona³³
 - i) Bajo: Menos de 549 euros
 - ii) Medio; mayor de 549 y menor de 1250 euros
 - iii) Alto: más de 1250 euros
- b) Frecuencia del viajero (número de viajes al mes)
 - i) Bajo: menos de uno
 - ii) Medio: más de uno y menos de cinco
 - iii) Alto: Más de cinco
- c) Edad
 - i) Jóvenes: menor de 30
 - ii) Maduros: de 30 a 49
 - iii) Mayores: más de 49

Las variables SE se introducen en forma conjunta en una primera especificación y luego, se van descartando, una a una, a medida que los t-ratios indican la poca influencia de ese rasgo. El resultado final de este proceso de modelación se presenta en la Tabla 4.4.

³³ Conviene recordar que la clasificación por ingreso se hizo dividiendo por el número de componentes de la familia el total de ingresos netos familiares declarados, siguiendo la metodología de la EPF

Tabla 4.4: MNL con variables SE (datos percibidos)

variable	estimador	t-ratio
Tiempo viaje avión	-7,41E-02	(-3)
Tiempo viaje jetfoil	-4,69E-02	(-4,2)
Tiempo viaje ferry rápido	-1,05E-02	(-1)
Tiempo viaje ferry lento	-2,89E-03	(-0,6)
Tiempo viaje de acceso y egreso	-8,18E-03	(-1,9)
Tiempo viaje- frecuencia media del viajero	-7,03E-03	(-2,1)
Tiempo viaje- alta frecuencia del viajero	-1,30E-02	(-2,1)
Tiempo viaje mujer	-1,33E-03	(-0,7)
Tiempo viaje acompañado de adultos	2,65E-03	(0,8)
Tiempo viaje ingreso medio y alto	-3,12E-03	(-1)
Tiempo viaje motivo viaje al trabajo	-6,33E-03	(-1,5)
Tarifa avión-jetfoil	-0,1627	(-5,4)
Tarifa ferrys	-0,3264	(-6)
Gasto de acceso y egreso	-7,69E-02	(-2,5)
Coste renta alta y media	5,42E-02	(2)
Coste alta frecuencia del viajero	-3,16E-02	(-0,9)
Coste acompañado de adultos	-4,87E-02	(-1,9)
Espera avión-jetfoil	-2,76E-02	(-1,9)
Espera ferrys	-7,06E-02	(-4,5)
Espera modo mujer	2,16E-02	(2,3)
Espera modo acompañado de adultos	8,63E-03	(0,8)
Espera modo-maduro y mayor	2,76E-02	(2,9)
Espera modo ingreso medio y alto	-2,43E-02	(-2,3)
Espera motivo trabajo	-3,71E-02	(-2,3)
Frecuencia	4,07E-02	(1)
Frecuencia frecuencia viajero alta	5,38E-02	(2,1)
Constante. Avión	-2,87	(-4,1)
Constante. Ferry rápido	-0,8468	(-1,3)
Constante. Ferry lento	-2,04	(-3,1)
$l(\theta)$	-391,8575	
$\rho(0)$	0,2225	
$\rho(cte)$	0,2357	

Es destacable la extraordinaria mejora en el ajuste, en comparación con el modelo sin variables SE (MNL-4) dado que la log verosimilitud aumenta en 34,90 puntos tras añadir 15 parámetros (la χ^2 correspondiente es 24,99 para un 95% de confianza³⁴)

La Tabla 4.5 resume la variación sistemática que engloba cada variable y su signo. La especificación del modelo (en lo sucesivo, modelo MNL-S) es la misma que el mejor modelo MNL 4 y con objeto de simplificar su estructura, se consideró que las variables relativas al costo (tarifa av-jf, tarifa ferrys, gasto de acceso y egreso) compartían variables SE y las variables relativas al tiempo de viaje (agrupa el

³⁴ Incluso se rechazaría la hipótesis nula de que el modelo general colapsa en el restringido para un 99,9% de confianza dado que el valor de la χ^2 correspondiente es 32,80, inferior a la ganancia en la verosimilitud

tiempo de viaje de todos los modos y el tiempo de acceso y egreso) se trataron análogamente.

Tabla 4.5: Efecto de las variables SE: coeficiente y t-ratio

		Coste	Tiempo viaje	Tiempo espera	Frecuencia
Ingreso	Medio-alto	5,42E-02 (2)	-3,12E-03 (-1,0)	-2,43E-02 (-1,9)	
Sexo	Mujer		-1,33E-03 (-0,7)	2,16E-02 (2,3)	
Frecuencia	Media		-7,03E-03 (-2,1)		
	Alta	-3,16E-02 (-0,9)	-1,30E-02 (-2,1)		
	Media-alta				5,38E-02 (2,1)
Acompañado	Adultos	-4,87E-02 (-1,9)	2,65E-03 (0,8)	8,63E-03 (0,8)	
Motivo	Trabajo		-6,33E-03 (-1,5)	-3,71E-02 (-2,3)	
Edad	Maduro-mayor			2,76E-02 (2,9)	

Se observa que la mayor parte de la variación sistemática se concentra en las variables de tiempo, tanto el de espera como de viaje. En cambio, la frecuencia y las variables de coste implican una menor variación. Este resultado será posteriormente confirmado con los modelos logit mixto, donde la mayor parte de la variación aleatoria se recoge en las variables de tiempo.

El signo y significancia estadística de los coeficientes estimados parece concordar con la lógica; así, con respecto al coste, el ingreso medio-alto tiene un efecto positivo (reduce el coeficiente del coste) y la frecuencia del viajero aumenta, en cambio, el nivel de éste. Igualmente son esperadas las relaciones encontradas para los tiempos de viaje donde, además del notable efecto de la renta, destacan el efecto negativo de los viajes al trabajo y de la frecuencia del viajero.

Por otro lado, es interesante observar cómo la desutilidad del viaje disminuye en los viajes acompañados de adultos. Las mujeres parecen experimentar, según el modelo, una mayor desutilidad en el tiempo de viaje respecto de los hombres, si bien en el tiempo de espera el signo de este efecto se invierte. El tiempo de espera registra un curioso efecto para la edad, que parece manifestar menos desutilidad por esa espera; a priori no hay razones para suponer que esto no es lógico, aunque pudiera ser que estos coeficientes estén enmascarando el efecto de otras variables. De nuevo, como es natural, la espera acompañado de adultos resulta menos penosa y así se refleja en el signo de ese coeficiente. Igualmente, parece razonable, que la desutilidad de esperar se incremente en los viajes al trabajo en relación con los viajes por motivos de ocio.

4.2 Modelos Logit jerárquico (HL)

La Tabla 4.6 muestra los modelos HL encontrados y probados con la especificación del MNL-4 que proporcionaron dos tipos de estructuras posibles: el HL-1 donde los modos rápidos, avión y jetfoil se agrupan en un nido, mientras los

ferrys cuelgan directamente del origen (figura 4.1) y el HL-2 (figura 4.2) que aglutina todos los modos excepto el ferry lento en un nido (nido 2).

Tabla 4.6: Modelos HL

	HL-1	HL-2
Φ (nido avión-jetfoil)	0,9401 (4,1)	
Φ (nido avión-jetfoil-ferry rápido)		0,895 (2,3)
Tarifa av-jf	-0,1283 (-5,2)	-0,1251 (-7,1)
Tarifa ferrys	-0,2897 (-4,4)	-0,283 (-5,8)
Gasto acceso y egreso	-4,20E-02 (-2,4)	-4,14E-02 (-2,4)
tv avión	-7,13E-02 (-2,4)	-7,00E-02 (-2,7)
tv jetfoil	-4,71E-02 (-3,4)	-4,63E-02 (-3,9)
tv ferry rápido	-1,72E-02 (-1,8)	-1,64E-02 (-1,8)
Tv ferry lento	-7,49E-03 (-2,2)	-6,93E-03 (-2)
t acceso y egreso	-1,01E-02 (-2,9)	-9,85E-03 (-3,2)
Frecuencia	6,29E-02 (1,7)	6,28E-02 (1,7)
t espera avión-jf	-1,43E-02 (-1,7)	-1,43E-02 (-1,7)
t espera ferrys	-6,07E-02 (-3,6)	-6,28E-02 (-2,7)
Constante jetfoil	2,614 (3,6)	2,577 (3,8)
Constante ferry rápido	2,608 (3,3)	2,626 (3,3)
Constante ferry lento	1,504 (2)	1,466 (1,9)
$l(\theta)$	-426,7744	-426,7704
ρ (0)	0,1532	0,1532
ρ (cte)	0,1676	0,1677

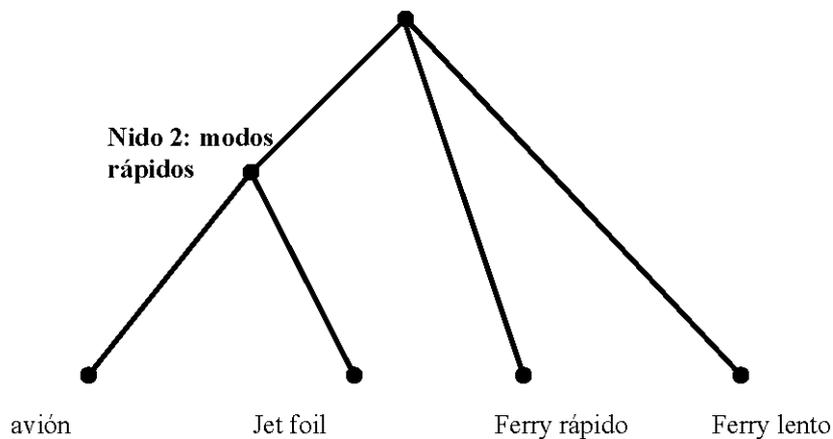


Figura 4.1: Estructura del HL-1

El HL-1 está muy próximo a colapsar en un MNL con una ϕ de 0,94³⁵ mientras que el HL-2 parece más robusto. Sin embargo, ninguno de los dos modelos supera de

³⁵ Esta estructura es similar a la que encontraron González y Ortúzar (2002) con datos de 1992. Hay que tener en cuenta que en ese momento el ferry rápido no estaba en servicio.

forma significativa en su log verosimilitud al MNL-4 y por tanto, deben ser rechazados en pro del modelo restringido MMNL-4.

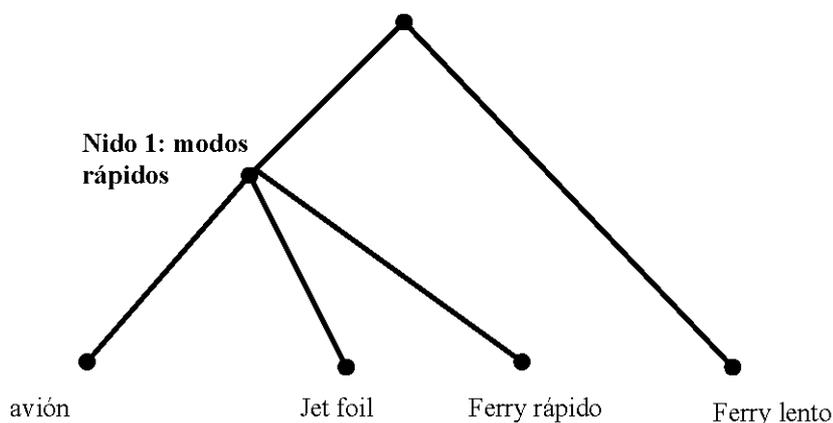


Figura 4.2: Estructura del HL-2

4.3 Modelos Logit mixto (ML)

En el capítulo 2 se definieron las principales características de este tipo de modelos y su derivación econométrica. Ante una modelación de esta naturaleza, las posibilidades del investigador son considerables pues puede elegir no sólo la forma de la distribución, sino también la manera en que la variación aleatoria se va a introducir en la especificación. Está demostrado que, al menos uno de los coeficientes debe ser fijo para que la estimación sea posible dado que la función de verosimilitud es muy plana (Ruud, 1996). Además, es normal, por conveniencia, establecer inicialmente las constantes modales como fijas (partiendo, naturalmente, de las obtenidas en los modelos MNL).

Por otro lado, Train y Revel (1999) exponen varias razones para mantener fijos los parámetros del coste: i) Dada la forma de la función a optimizar es necesario algún punto fijo. Los modelos donde todos los parámetros varían son inestables ii) En la estimación de la disposición a pagar, como en el valor subjetivo del tiempo (VST), conviene tener este parámetro fijo para conocer a priori la distribución de ese ratio, dado que el cociente entre una variable que distribuye Normal y una variable no aleatoria, también distribuye Normal. iii) Además, los precios deben tener un coeficiente de signo negativo y una distribución, por ejemplo, Normal, podría producir signos incorrectos (dado que no está acotada).

Para obviar este último problema, Train (2003) recomienda el uso de distribuciones truncadas como la lognormal, pero éstas resultan dificultosas de estimar; otra posibilidad es probar con distribuciones acotadas, como la triangular³⁶.

Sin embargo, en nuestro caso, como ya observamos en el estudio de las variaciones sistemáticas, parece observarse que los parámetros del coste acumulan menos variación que los del tiempo. De hecho, al postular que el parámetro del coste distribuye Normal, los resultados indicaron que su varianza era poco significativa.

Las simulaciones utilizaron secuencias de Halton³⁷ (Bath, 1998)³⁸. Para aquellos atributos donde finalmente se establecieron parámetros aleatorios, se presentan dos resultados de la estimación: la media y la desviación típica dentro de la población.

Una de las tareas que más posibilidades ofrece en la estimación de un ML es la elección del tipo de distribución. El código de Gauss utilizado permite el uso de las distribuciones triangular, uniforme, normal y log normal. En los modelos que aquí se exponen, todos los parámetros aleatorios distribuyen normal, dado que son los que mejor resultado dieron³⁹.

4.3.1 *ML con datos basados en percepciones*

Las Tablas 4.7 a y b exponen los resultados de la modelación en ML para datos percibidos y usando las mejores especificaciones encontradas para el MNL. Es destacable el gran crecimiento de los coeficientes estimados en relación con sus pares de los modelos MNL; en efecto, los coeficientes del ML resultan a una escala entre 3 y 7 veces superior en comparación con los del MNL.

Es sabido que en el ML los coeficientes estimados deberán ser de mayor magnitud que en el caso del MNL debido a un efecto de escala, ya que parte del error Gumbel (ruido blanco) es absorbido por la componente aleatoria de los coeficientes

³⁶ No obstante, otros investigadores como Hensher y Green (2003) o Sillano y Ortúzar (2005) plantean formas alternativas de resolver este problema.

³⁷ Todos los modelos fueron obtenidos con Gauss adaptando el código de Kenneth Train disponible en su página web: [<http://elsa.berkeley.edu/~train/ps.html>]

³⁸ Recientemente han aparecido múltiples ofertas en este sentido, tales como distribuciones Rayleigh (Hensher, 2005) o distribuciones acotadas donde las cotas se han obtenido a partir de la calibración del modelo (Hess et al., 2005). Todos estos esfuerzos van encaminados a solucionar el problema de los signos contra intuitivos en el cálculo de los ratios de la disposición a pagar, como es el caso del VST.

³⁹ Se partió de distribuciones normales pero se probaron todas las formas. Comprobamos así que las distribuciones triangulares son eficaces para resolver problemas con los signos, no así las lognormales que inevitablemente condujeron a modelos que no convergían. En general, parece claro que combinar distribuciones normales y triangulares era lo más adecuado.

y como la utilidad está normalizada a través de la desviación estándar del error, los coeficientes del ML deben aumentar (Brownstone y Train, 1998). No obstante, la diferencia encontrada en este caso es superior a las habitualmente registradas (véase la discusión en Ortúzar y Sillano, 2005)

Tabla 4.7 (a): Modelos ML basados en datos percibidos

Coeficiente (t-ratio)	ML-1		ML-2	
	media	Desviación	media	Desviación
Tarifa av-jf	-2,19E-01 (-4,1)		-2,01E-01 (-4,7)	
Tarifa ferrys	-5,91E-01 (-4,3)		-5,98E-01 (-3,2)	
Gasto aceg	-5,30E-02 (-1,9)		-5,60E-02 (-2,0)	
Espera	-5,94E-02 (-3,1)		-6,99E-02 (-2,7)	
Freq	1,89E-01 (2,4)		1,65E-01 (2,3)	
Aceg.	-1,65E-02 (-2,2)	-2,85E-02 (-2,4)	-2,20E-02 (-2,5)	
Tv av-jf	-3,20E-02 (-1,9)	-9,58E-02 (-3,1)	-2,49E-02 (-2,4)	-1,02E-01 (-2,5)
Tv ferrys	-5,53E-02 (-3,2)			
Tv ferry r			-5,88E-02 (-2,5)	
Tv ferry l			-1,66E-02 (-2,6)	6,78E-03 (1,4)
Constante jetfoil	6,49 (2,9)		6,25 (2,6)	
Constante ferry r	4,07 (2,4)		4,47 (1,9)	
Constante ferry l	2,21 (1,2)		1,76 (1,0)	
$l(\theta)$	-419,197		-418,831	

Tabla 4.7 (b): Modelos ML basados en datos percibidos

Coeficiente (t-ratio)	ML-3		ML-4	
	media	Desviación	media	Desviación
Tarifa av-jf	-4,1248E-01 (-3,0)		-4,32E-01 (-2,8)	
Tarifa ferrys	-8,7918E-01 (-3,6)		-8,87E-01 (-3,1)	
Gasto aceg	-1,2747E-01 (-1,9)		-1,26E-01 (-2,0)	
Espera	-8,7348E-02 (-2,6)			
Espera av-jf			-6,84E-02 (-1,5)	
Espera ferry			-9,62E-02 (-2,8)	
Freq	3,4852E-01 (2,0)		3,67E-01 (1,7)	
Aceg.	-3,3374E-02 (-2,5)		-3,53E-02 (-2,3)	
Tv avión	-1,1661E-01 (-1,8)		-1,28E-01 (-1,9)	
Tv jetfoil	-1,7224E-01 (-3,0)	-9,0018E-02 (-2,7)	-2,44E-02 (-2,2)	-7,46E-02 (-2,1)
Tv ferry r	-6,9582E-02 (-2,0)	-7,4667E-02 (-1,8)	-7,94E-02 (-1,9)	-1,80E-01 (-2,6)
Tv ferry l	-2,3723E-02 (-2,3)	1,7793E-04 (0,5)	-8,41E-02 (-2,2)	
Constante jetfoil	14,3378 (2,4)		15,231 (2,1)	
Constante ferry r	8,1845 (2,5)		9,021 (2,1)	
Constante ferry l	4,4652 (1,7)		5,454 (1,6)	
$l(\theta)$	-410,051		-409,752	

También aquí se observa que el valor de la verosimilitud es algo mayor en este tipo de modelos que en los MNL para una misma especificación (ver Tabla 4.8). No obstante, el mejor índice de bondad del ajuste lo obtiene el MNL con variaciones sistemáticas de los gustos (Tabla 4.4)

El ML-4 es el mejor de los modelos listados en la Tabla 4.7, dado que su valor de $l(\theta)$ es el más bajo, teniendo el mismo número de parámetros que el ML-3. Esto es consistente con que el MNL-4 fuera la mejor estructura en el caso de los modelos MNL.

Tabla 4.8: Comparación entre el MNL y el ML

modelo	MNL		ML	
	n*	L(θ)	n	L(θ)
1	11	-434,489	13	-419,197
2	12	-433,961	14	-418,831
3	13	-433,530	16	-410,051
4	14	-426,806	16	-409,752

(*) Número de parámetros del modelo

En los coeficientes de este ML-4 se verifica la misma estructura jerárquica de coeficientes de tv que se observó en el MNL-4. En efecto, $tv \text{ avión} > tv \text{ jetfoil} > tv \text{ ferry r} > tv \text{ ferry l}$. La variación poblacional se concentra en los coeficientes del jetfoil y del ferry rápido. En el primero, se trata de una desviación elevada y significativa, aunque el 99% de los sujetos tendrían un coeficiente negativo; por otro lado, los individuos en el extremo del intervalo del 95% de confianza, tendrían un coeficiente más de dos veces superior de los situados en la cota más baja.

Respecto del coeficiente del ferry rápido, su distribución es mayor y más significativa que en el primer caso, si bien la media también es mayor. Nuevamente, 99% de los individuos tendría el signo correcto y el rango del intervalo sería tal que los de la cota superior percibirían un coeficiente del tiempo 1,8 veces superior a los de la cota inferior.

4.3.2 ML con datos de tiempo de viaje medidos

Los modelos ML con datos medidos se muestran en la Tabla 4.9. De nuevo, la variación aleatoria se concentra en los parámetros del tiempo. Resulta interesante comparar esta especificación con su equivalente con datos medidos tanto en MNL como en ML. En la Tabla 4.10 se despliegan los valores de la función de verosimilitud para estos modelos, lo que permite establecer una jerarquía clara: el mejor modelo desde el punto de vista del ajuste, es el ML con datos percibidos, seguido por el ML con datos medidos, el MNL con datos percibidos y, finalmente, el MNL con datos medidos. No obstante ninguno de estos supera la calidad del ajuste del MNL con variaciones sistemáticas de los gustos.

Tabla 4.9: Comparación de modelos MNL y ML

Tipo de datos	MNL			ML		
	n*	Medidos L(θ)	Percibidos L(θ)	n*	Medidos L(θ)	percibidos L(θ)
Modelo 1	11	-436,958	-434,489	12	-423,625	-419,197
Modelo 2	12	-436,951	-433,961	14	-421,508	-418,831

(*) Número de parámetros del modelo

Tabla 4.10: Modelos ML basados en datos medidos

Modelo	ML-1		ML-2	
	media	desviación	media	desviación
Tarifa av-jf	-1,96E-01 (-4,5)		-2,55E-01 (-3,2)	
Tarifa ferrys	-5,45E-01 (-4,4)		-7,75E-01 (-2,8)	
Gasto acceso y egreso	-5,42E-02 (-2,1)		-6,51E-02 (-1,9)	
Espera	-5,38E-02 (-3,1)		-8,40E-02 (-2,5)	
Frecuencia	1,51E-01 (2,4)		2,11E-01 (2,2)	
Tiempo acceso y egreso	-1,24E-02 (-1,9)	-2,58E-02 (-2,5)	-2,90E-02 (-1,0)	-3,54E-02 (-2,2)
Tv avión-jetfoil	-2,62E-02 (-1,9)	-8,69E-02 (-2,6)	-3,16E-02 (-2,2)	1,29E-01 (-2,4)
Tv ferrys	-5,74E-02 (-3,2)			
Tv ferry rápido			-8,79E-02 (-2,4)	
Tv ferry lento			-1,78E-02 (-2,1)	-1,17E-02 (-2,1)
Constante jetfoil	4,83 (2,5)		6,81 (2,0)	
Constante ferry rápido	3,35 (2,3)		5,57 (1,8)	
Constante ferry lento	0,99 (0,6)		1,19 (0,6)	
l(θ)	-423,6250		-421,5089	

Para decidir entre los modelos ML con datos medidos, aplicamos el test de la razón de la verosimilitud en el que la hipótesis nula es que el modelo restringido es aceptable. El cálculo de LR (4,23) permite rechazar el modelo ML-2 quedándonos con el modelo restringido ML-1, dado que no supera la χ^2 para dos grados de libertad 5,99 (ML-2 tiene dos parámetros más).

4.4 Conclusiones de la modelación

Los resultados confirman la ligazón del avión y el jetfoil desde diferentes puntos de vista, y todo parece configurar un mercado con dos extremos representados por el ferry lento y los dos modos rápidos avión-jetfoil, ocupando el ferry rápido una posición intermedia.

La mejor especificación considera las variables de costo divididas, en primer lugar, entre la tarifa del modo principal por un lado y los gastos de los modos de acceso y egreso que resultan menos importantes en la utilidad. Además, resulta altamente significativo desdoblarse el coeficiente de la tarifa en dos (avión-jetfoil y ferrys) lo que quizá viene a reflejar diferentes sensibilidades hacia la tarifa en ambos mercados de pasajeros.

El tiempo de acceso y egreso se modeló conjuntamente, dado que por separado los resultados eran peores; esto pone de relieve que a los pasajeros les resulta más difícil concebir la información del viaje a futuro y utilizan reglas de simplificación que empeoran la calidad de la información reportada. Resulta clave, a este respecto, el momento en y el lugar en el que se hace la encuesta.

La estructura de los tiempos de viaje en el modo principal en estos modelos, establece una jerarquía de coeficientes avión>jetfoil>ferry r>ferry lento. No obstante, algunos modelos cambian la percepción del avión respecto de la del jetfoil, que se convierte así en el modo con mayor valoración del tiempo de viaje.

En general da la impresión de que la desutilidad del viaje parece más intensa en el avión y el jetfoil respecto de los ferrys. Esto podría reflejar la forma en que se realiza el viaje en esos modos, donde el movimiento está más restringido que en los ferrys y las posibilidades de interacción humana y entretenimiento son claramente menores. Por otro lado, también puede traslucir una mayor valoración de ese tiempo por parte de los usuarios de esos dos modos.

Es interesante observar cómo el modelo mejora cuando al tiempo de espera se le asignan coeficientes específicos para la espera en el aeropuerto y estación de jetfoil, respecto de la espera en los ferrys. En efecto, los coeficientes de la espera en el ferry son de 1,5 a 5 veces superiores que en el avión-jetfoil. Esto podría estar relacionado con el recinto donde se realiza esa espera en Gran Canaria: a la intemperie en el caso de los ferrys, mientras que el avión y el jetfoil disponen edificios agradables y cerrados.

El análisis de la variación sistemática de los gustos, coloca la mayor parte de ésta en las variables relativas al tiempo, que se ven afectadas por el ingreso, sexo, frecuencia, ir acompañado de adultos y motivo del viaje. El tiempo de espera, a su vez, se ve afectado por el ingreso, sexo, acompañado de adultos, motivo y edad. La menor variación se registra en la frecuencia, que es sólo afectada por la frecuencia del viajero, y en los costes donde el ingreso, la frecuencia –aglutinada en un solo nivel- y el viaje acompañado de adultos, constituyen las variables SE relevantes. La intensidad y el sentido de estas variables es el esperado en el ingreso, la frecuencia y motivo trabajo (afectan negativamente a la desutilidad). Las mujeres parecen valorar más el tiempo de viaje, pero toleran más la espera; la percepción de ésta última, a su vez, se atenúa, según el modelo, con la edad. Naturalmente, el viaje acompañado de adultos resulta menos desagradable, de modo que el efecto de esta variable es positivo en su interacción con los tiempos de viaje, ya sea de acceso, viaje o espera.

En todo momento se ha seguido una discusión paralela en torno al uso de datos basados en percepciones o en mediciones. Se ha comprobado que los modelos basados en percepciones son mejores, tanto en el valor de la función de verosimilitud, como en la significación de sus parámetros. Esta superioridad se observa en cualquier especificación ya sea ML o MNL.

Los modelos ML muestran que la mayor parte de la variabilidad está concentrada en las variables relativas al tiempo de viaje, manteniendo fijos los coeficientes del coste, este resultado es muy conveniente a la hora de derivar disposiciones al pago con estos modelos. Además, esto resulta coincidente, hasta cierto punto, con la variación sistemática estudiada a través de las variables SE.

Los modelos ML explican mejor los datos que su contraparte MNL, dado el valor de su verosimilitud, pero reproducen la jerarquía de tiempos de viaje explicada anteriormente. No obstante el ranking final de modelos –atendiendo al valor de la función de verosimilitud- es el siguiente: modelos MNL con variables SE, seguido

por el ML con datos percibidos, ML con datos medidos, MNL con datos percibidos y, por último, MNL con datos medidos.

Este resultado es bastante notable ya que en la mayoría de las aplicaciones reportadas en la literatura (aún cuando son exclusivamente sobre modelos con datos de preferencias declaradas) el modelo ML superaba al MNL interactuando con variables SE. Esto puede deberse a que aquí se utilizaron datos de preferencias reveladas ya que una de las principales razones por las que el ML mejora el MNL (que no necesita tratar a las observaciones de preferencias declaradas de un mismo individuo como independientes –ver Ortúzar et al, 2000) no existe.

5 Resultados de la modelación: el valor del tiempo, predicciones, y análisis de sensibilidad

En el capítulo anterior se seleccionó una serie de modelos con objeto de utilizarlos en esta fase de aplicación: obtención del valor subjetivo del tiempo (VST), validación del modelo y análisis de sensibilidad. Dado que estamos desarrollando una discusión donde se cruzan la conveniencia de los modelos ML frente a los MNL y los modelos con datos percibidos frente a los que utilizan datos medidos, resulta necesario traer aquí varios de los anteriores modelos de manera que todas las categorías estudiadas puedan compararse. Así, los modelos a utilizar vienen reseñados en la Tabla 5.1

Tabla 5.1: Modelos seleccionados

Tipo de modelo	modelo	Tipo de datos
MNL	MNL-4	Percibidos
	MNL-1	Medidos
	MNL-1	Percibidos
	MNL-S	Percibidos
ML	ML-4	Percibidos
	ML-1	Medidos

En este capítulo se determina primero el VST y luego se discute el cálculo de los intervalos de confianza para el VST en cada uno de los modelos señalados comparando diferentes metodologías y examinando la conveniencia de usar cada una de ellas en función de los problemas particulares de cada caso. Posteriormente, se validan los modelos basándonos en la comparación de sus resultados con los cambios recientemente observados en este mercado, incluyendo la sustitución de un modo por otro. Finalmente, se analiza la sensibilidad de los atributos, presentando las elasticidades y cambios del mercado ante alteraciones de las variables del servicio.

5.1 Intervalos de confianza del valor subjetivo del tiempo

El VST se define como la disposición individual a pagar por ahorrar tiempo. Es un caso particular del concepto de la disposición a pagar (WTP⁴⁰) por cualquier características de un modo (tiempo de viaje, pero también frecuencia, seguridad,

⁴⁰ De sus siglas en inglés *Willingness to pay*. En adelante se utilizará las siglas WTP como el valor de cualquier atributo de la oferta, no necesariamente el tiempo.

comodidad, etc). En términos analíticos la WTP es el ratio de sustitución entre las utilidades marginales del atributo en cuestión y el coste (ver, por ejemplo, Jara-Díaz, 1988) y equivale al cálculo de la evaluación compensatoria (Small y Rosen, 1981). Así, la WTP de un atributo k sería

$$WTP = \frac{\partial V_i / \partial k_i}{\partial V_i / \partial c_i} \quad (5.1)$$

donde V_i representa la utilidad indirecta del modo i , c el coste y k el atributo cuya disposición a pagar se está calculando. Es decir, se trata del cociente entre el parámetro de la variable en cuestión y el parámetro del coste. Esta igualdad no rige en especificaciones no lineales (Gaudry *et Al.*, 1989).

La determinación del VST ha sido uno de los temas más ampliamente estudiados en la investigación de economía del transporte. Las primeras estimaciones datan de los años 60 (Warmer, 1962; Beesley, 1965). Desde entonces, han sido cuantiosos los estudios realizados así como las revisiones de esos estudios (Harrison, 1974; MVA *et al.* 1987; Wardman, 1998; Wardman, 2001). El objetivo de esta sección es aportar una evidencia más, de las escasamente encontradas en España (Matas, 1991; Hunt, 1992; González y Ortúzar, 2002; González-Savignat, 2004), sobre un mercado muy específico, ya que hay pocos trabajos que estimen el VST de modos marítimos.

5.2 Intervalos de confianza para el VST sin variables SE

El cálculo de intervalos de confianza para el VST (ICVST) supone una mejora de información proporcionada por las típicas estimaciones puntuales de la literatura de transporte. Los intervalos de confianza permiten calcular cotas inferiores y superiores del VST que, por ejemplo, podrían ser utilizadas en análisis de sensibilidad para el cálculo de diversos escenarios en la valoración social de las inversiones de transporte.

Como se ha explicado, el VST se obtiene como ratio entre los estimadores del tiempo y del coste que son variables aleatorias que distribuyen asintóticamente Normal. Está demostrado que en el caso particular del cociente de dos variables aleatorias Normal estándar es, a su vez, otra variable aleatoria que distribuye Cauchy (Arnold y Brockett, 1992). Esta distribución tiene una varianza indefinida y una media sin expresión analítica conocida.

En el VST se tiene el cociente de dos normales multivariadas lo que probablemente suponga una distribución inestable y, a priori, desconocida. Por esta razón, la construcción de un intervalo de confianza no puede basarse en las técnicas analíticas estándares.

Armstrong y Ortúzar (2001) proponen varios métodos para el cálculo del ITCVST de los cuales se aplicará el test asintótico, que resulta sencillo de emplear para ratios simples como el caso que nos ocupa. La virtud de este método es que no exige conocer la forma de la distribución del VST.

$$V_{S,I} = V * \left(\frac{t_c}{t_t} \right) \frac{(t_t t_c - \rho t^2)}{(t_c^2 - t^2)} \pm V * \left(\frac{t_c}{t_t} \right) \frac{\sqrt{(\rho t^2 - t_t t_c)^2 - (t_c^2 - t^2)(t_c^2 - t^2)}}{(t_c^2 - t^2)} \quad (5.2)$$

donde V^* representa el VST puntual, t_c y t_t son los t-ratios del parámetro del tiempo y del costo respectivamente, ρ representa el índice de correlación entre el tiempo y el coste y t es el t-ratio esperado para el VST que, para un nivel de confianza del 95% es de 1,96. El término de la izquierda es la raíz básica que, agregada y disminuida por el término de la derecha, proporciona los límites superior e inferior del intervalo.

Uno de los problemas para determinar el ICVST es el desconocimiento de la forma de la distribución de ese ratio (5.1). Dado que el método de Armstrong no exige el conocer esa distribución para calcular el ICVST, resulta fácil de aplicar.

La Tabla 5.2 muestra los intervalos calculados con la fórmula (5.2) y, además, las estimaciones puntuales⁴¹ para el VST de las variables básicas de los modos. Así mismo, la Tabla 5.3 analiza el rango de los intervalos en términos relativos en relación con el VST. Tomando como referencia el modelo MNL-4, el VST del avión es de 32 € por hora (en adelante, por razones expositivas se supondrá que siempre son euros por hora), por encima de 21,71 del jetfoil y los 7,99 y 3,50 de los ferry rápido y lento, respectivamente.

Tabla 5.2: Estimaciones puntuales e intervalos de confianza (€ por hora)

variable	MNL-1	MNL-1 M	MNL-4
Tv avjf	13,96 (8,31;20,88)	12,63 (7,28;19,11)	
Tv avión			32,37 (10,76;59,64)
Tv jetfoil			21,72 (11,76;34,62)
Tv ferry r			7,99 (0,91;15,96)**
Tv ferry l			3,50 (0,54;6,79)
Tv ferry	1,30 (0,47;2,28)	1,12 (0,25;2,15)	
Tv aceg	13,21 (4,32; 62,64)	12,64 (4,07; 56,02)	14,02 (4,26;83,38)
Freq avjf	-25,97 (-3,13; -50,42)	-24,48 (-0,96; -49,67)*	-0,50 (-0,02; -1,03)**
Freq ferry	-10,89 (-1,31; -21,19)	-10,29 (-0,40; -20,94)*	-0,22 (-0,01; -0,47)**
Espera avjf	16,13 (9,01; 25,80)	16,68 (9,11; 27,40)	6,97 (0,31;14,74)**
Espera fer	6,76 (3,90; 10,52)	7,01 (4,04; 10,98)	12,43 (7,63;19,66)

• *85% de confianza / **90% de confianza

⁴¹ Se designará así a las estimaciones del VST calculadas simplemente como el ratio (5.1).

Tabla 5.3: Rango de los intervalos

variable	MNL-1 p		MNL-1 m	
Tv avjf	13,96	90,0%	12,63	93,7%
Tv ferry	1,3	139,2%	1,12	169,6%
Tv aceg	13,21	441,5%	12,64	411,0%
Freq avjf	25,97	182,1%	24,48	199,0%
Freq ferry	10,89	182,6%	10,29	199,6%
Espera avjf	16,13	104,1%	16,68	109,7%
Espera fer	6,76	97,9%	7,01	171,6%
Tv avjf	13,96	90,0%	12,63	93,7%

Se observa que algunos intervalos son considerablemente amplios y hasta cierto punto, como veremos más adelante, tomando estimaciones puntuales del VST con variables SE, se captura gran parte de esa variedad.

Para comparar los resultados entre datos medidos y percibidos se utilizaron los modelos MNL-1 y MNL-1 M. Se advierte que los intervalos en los modelos con datos percibidos son considerablemente menores que en los modelos medidos lo que subraya su mayor precisión.

Respecto de la frecuencia, debe tenerse en cuenta que ésta se definió como el número de expediciones al día y, por tanto, la interpretación de estos ratios debe hacerse, en valor absoluto, como la disposición a pagar por una expedición más en cada modo. Sorprende ver los valores tan bajos por una expedición más con intervalos cuya cota superior apenas pasa de un euro. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que en términos del ahorro de tiempo en el intervalo entre dos expediciones, las cifras parecen más razonables como se discutirá más adelante. En la sección 5.4 se comenta la relación entre la frecuencia y las otras variables para cada modo.

El VST de acceso y egreso –siguiendo el modelo MNL-4 – se sitúa en un lugar intermedio entre el VST del ferry rápido y el jetfoil. La estimación puntual, (14,02), duplica el VST del ferry rápido y representa un 43% del VST de avión. Lo característico de este VST es la amplitud de su intervalo: desde 4,26 a 83,38, reflejo también, de su escasa significatividad.

El tiempo de espera en el modelo MNL-4 es muy poco significativo para el avión-jetfoil. El intervalo [0,31;14,74] está calculado para un 90% de confianza. El VST de espera para los ferrys duplica, en su estimación puntual, al del avión y resulta mucho más significativo. Se ha comentado en el capítulo 4 el alivio que supone esperar en un aeropuerto o estación, a diferencia de la espera del ferry ya que estos carecen, en Gran Canaria, de una infraestructura propia. No obstante, hay una amplia variedad en el VST espera como se verá más adelante.

5.3 Relación entre los atributos del tiempo, frecuencia y costo

Una forma de estudiar la relación entre el tiempo, la frecuencia y el costo es trazando *isocostas* que se definen, para este caso, como aquellas combinaciones de frecuencia y tiempo (en términos de variación respecto de la situación inicial) que mantendrían constantes el nivel de utilidad ante un aumento cierto aumento de la tarifa.

En la figura 5.1 se representan *isocostas* construidas considerando un aumento del 10% en la tarifa; así, para que la utilidad permanezca inalterable hay que compensar con reducciones del tiempo de viaje o aumentos de la frecuencia.

La *isocosta* podría expresarse como $\bar{U}_i(c, f, t)$ siendo \bar{U}_i la utilidad constante asociada al modo i y c, f y t el coste, la frecuencia y el tiempo de viaje del modo i (*ceteris paribus* el resto de los componentes del servicio).

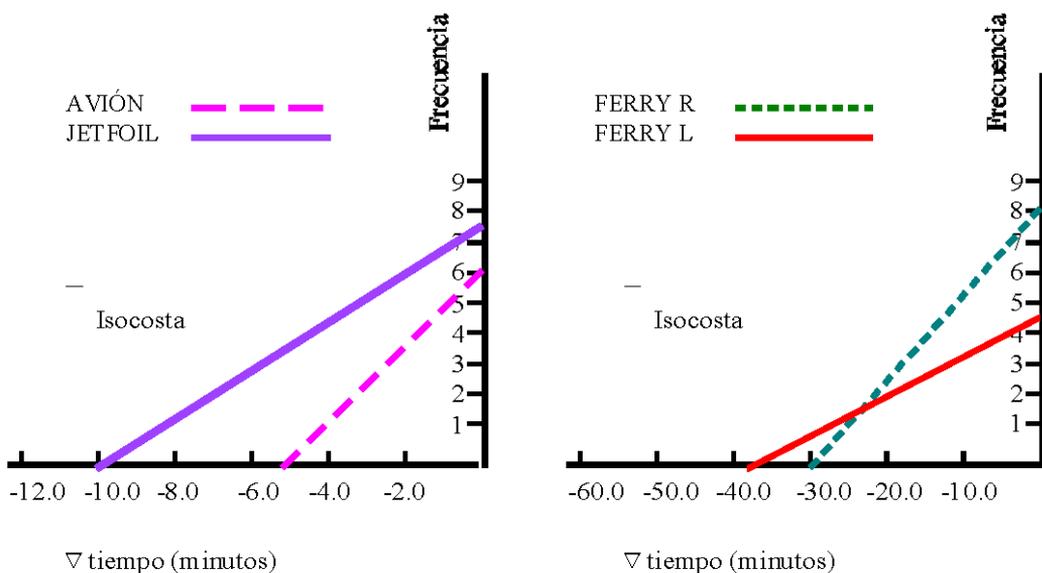


Figura: 5.1: *Isocosta* del avión y el jetfoil (izquierda) y de los ferrys (derecha)

Una mayor pendiente de la *isocosta* señalaría una frecuencia más barata en términos de reducciones de tiempo y a la inversa. De acuerdo con estos resultados, en el caso del jetfoil los usuarios aceptarían subidas del 10% en la tarifa si fueran compensadas con 7 salidas más o bien con reducciones de tiempo que en el extremo, para un aumento nulo de la frecuencia, conducirían a una disminución de más de 10 minutos en el trayecto. En cambio, el avión presenta un perfil más plano, pues tiene una frecuencia más que suficiente. Los pasajeros prefieren menos

tiempo: casi 6 minutos, lo que proporcionalmente representa una cantidad considerable.

Por su parte, los usuarios del ferry exhiben un perfil basculado hacia el tiempo ya que prefieren reducciones del tiempo de viaje a aumentos de la frecuencia, especialmente en el caso del ferry lento cuya frecuencia es la más baja de todas.

Aparentemente, las variaciones de frecuencia, expresadas como cambios en el número de expediciones, parecen muy baratas en términos de coste y tiempo. Con todo, si traducimos estos cambios en tiempo a través de la reducción del tiempo de los intervalos que el aumento del número de salidas generaría, esta impresión no es tan clara. En efecto, de acuerdo con los resultados expuestos en la Tabla 5.4, un aumento de salidas como el señalado en la figura conduciría a una reducción del tiempo entre intervalos de salidas de sólo 12 minutos para el avión. Para el jetfoil, con una frecuencia muy baja, el intervalo se reduciría en 105 minutos. En el ferry rápido, se produciría un ahorro de 77 minutos frente a los 332 del ferry lento.

Tabla 5.4: Estudio de la frecuencia

	expediciones	Amplitud Intervalo (minutos)	Tiempo entre Expediciones inicial	Tiempo entre Expediciones final	Ahorro de tiempo
avión	17/2	840	49	37	12
Jetfoil	3	450	150	45	105
Ferry r	6	810	135	58	77
Ferry l	1/2	960	480	148	332

Comparando estos valores con los equivalentes en reducciones de tiempos de viaje, se tiene que los usuarios del avión aparentemente estarían dispuestos a intercambiar un minuto de tiempo de viaje por dos minutos de reducción en el intervalo, los usuarios de jetfoil valoran igual una reducción del tiempo de viaje en 10 minutos que una disminución del intervalo en 105. En el ferry rápido las cifras sugieren que una caída en el intervalo entre salidas de 77 minutos resulta equivalente a una reducción de tiempo de viaje en más de 30 minutos y en el ferry lento, una rebaja de más de 40 minutos en el tiempo de viaje equivale a una disminución de 332 minutos en el tiempo entre expediciones.

Si medimos la frecuencia en términos de tiempo, tendríamos que un minuto menos entre expediciones vale 0,5 minutos del tiempo de viaje del avión, 0,1 del jetfoil, 0,38 del ferry rápido y 0,12 del ferry lento. De acuerdo con estos datos, aparentemente la frecuencia es un atributo valorado, de mayor a menor en una jerarquía como la siguiente: avión > ferry rápido > ferry lento > jetfoil descollando el avión y siendo valores muy cercanos los del jetfoil y el ferry lento. En este sentido es interesante comentar los hallazgos de Wardman (2001) que encuentra una relación de 0,8 entre el VST del modo principal y el tiempo de los intervalos de la frecuencia.

La frecuencia es una variable relacionada con la conveniencia que permite ajustar mejor las holguras de tiempo de que dispongan los viajeros. Los viajeros con citas concertadas, ajustados a cierta agenda, agradecerán una frecuencia alta y es por eso que, en ese aspecto, el avión es imbatible. Por el contrario, una frecuencia baja dificulta la asignación eficiente del tiempo.

En todo caso, esa conveniencia se valora menos que el tiempo de viaje. En efecto, una frecuencia alta permite una mejor asignación del tiempo, lo que resulta importante para la mayor parte de los viajeros, pero en todo caso menos valioso que la duración del viaje o de cualquiera de los fragmentos de tiempo implicados en el mismo. Un conocimiento más profundo de los planes de los viajeros – por ejemplo, si necesitaban llegar a cierta hora- nos hubiese permitido explorar estas holguras de tiempo y su rol en la modelación (Cherchi y Ortúzar, 2002)

5.4 Intervalos de confianza para el valor subjetivo del tiempo con variables SE

De la combinación de las variables SE junto con los parámetros básicos del modelo se obtienen un total de 384 tipos de viaje que constituyen todos los casos posibles de viajeros que el modelo es capaz de reproducir. Los tipos de viaje surgen de la consideración de las características del viajero (sexo, edad, ingreso) y de las circunstancias en las que éste se realizó (viaja solo o acompañado, viaje de ocio o de trabajo y otros) junto con los tiempos de viaje del modelo (acceso y egreso, viaje en el modo principal, tiempo de espera) Esta es la variabilidad sistemática explicada a través de variables conocidas.

Antes de abordar el estudio de los ITCVST en el caso de las variables SE, resulta ilustrativo comentar los resultados de las estimaciones puntuales

5.4.1 Estimaciones puntuales del VST con variables socioeconómicas

En este caso, basta con calcular el ratio de las variables implicadas siguiendo (5.1) y considerando los coeficientes estimados de acuerdo a (4.1). Sin embargo, la exposición de 384 tipos de viaje resulta excesiva, por lo que aquí sólo se expondrán los casos relativos a viajes al trabajo y que afectan al tiempo de viaje en el modo principal⁴², por considerarlos los más relevantes. Estos valores se encuentran en la Tabla 5.5. El lector interesado puede acudir al listado completo en el Anexo 7.3.

En el apartado anterior, durante el cálculo de ITCVST sin variables SE se hallaron intervalos de rangos considerablemente amplios. Da la impresión de que esa amplia

⁴² En la literatura de economía del transporte se suele indicar como IVT (*in-vehicle-time*) al tiempo que discurre dentro del vehículo; en este caso lo utilizamos para describir el tiempo del modo principal.

heterogeneidad puede ser explicada de alguna forma, con la variación sistemática que se refleja en el análisis de las estimaciones puntuales con variables SE. Por ejemplo, del valor más bajo al más alto nos encontramos con un rango de 6,41 a 68,43 para el tiempo de acceso y egreso siendo el ITCVST calculado anteriormente para el acceso y egreso de [4,26-83,38]. Análogamente sucede en el caso del avión, los ITCVST resultan de alguna forma reflejados en la variación observada en estas estimaciones puntuales con variables SE.

Tabla 5.5: VST IVT viajes al trabajo. Estimaciones puntuales

Frecuencia*	No va acompañado				Va acompañado			
	Ingreso bajo		Ingreso alto		Ingreso bajo		Ingreso alto	
	H	M	H	M	H	M	H	M
avión								
Baja	29,66	30,15	46,19	46,92	22,09	22,46	30,89	31,40
Media	32,26	32,75	50,09	50,82	24,09	24,47	33,59	34,10
Alta	28,82	29,23	53,38	54,11	22,41	22,73	35,86	36,37
jetfoil								
Baja	19,61	20,10	31,12	31,86	14,35	14,72	20,49	20,99
Media	22,22	22,70	35,03	35,76	16,35	16,73	23,19	23,69
Alta	20,42	20,83	38,32	39,05	15,68	16,01	21,17	21,59
ferry rápido								
Baja	3,11	3,35	4,42	4,71	2,28	2,49	3,25	3,50
Media	4,41	4,65	5,97	6,26	3,41	3,62	4,57	4,82
Alta	5,01	5,23	7,28	7,57	4,02	4,22	5,17	5,39
Ferry lento								
Baja	1,69	1,94	2,72	3,01	1,05	1,26	1,81	2,06
Media	2,99	3,23	4,27	4,56	2,18	2,39	3,13	3,38
Alta	3,72	3,94	5,58	5,87	2,89	3,08	3,86	4,08

(*) Se trata de la frecuencia del viajero, no del modo.

A continuación se comentan los resultados obtenidos en todas las estimaciones puntuales distinguiendo entre VST del IVT, acceso y espera y, dentro de éstos, separando por las diferentes categorías SE.

5.4.1.1 El VST en el modo principal

• Viajes por motivos de ocio, estudio y otros

El VST de avión discurre por una horquilla de 27,32 hasta 50,60 para las rentas altas y viajes muy frecuentes. En caso de viajes acompañados por adultos y, por tanto, supuestamente más agradables, el VST desciende a un rango de entre 20,28 y 33,94.

Respecto del jetfoil, sus VST se mueven en valores más bajos, partiendo –dentro de los viajes no acompañados- del valor 17,27 para los viajeros de ingreso bajo y poco frecuentes hasta 35,54 para los grupos de estrato alto y viajeros frecuentes. Igualmente, viajar acompañado disminuye el VST hacia un intervalo de 12,55 a 19,58 para mujeres que viajan con frecuencia y tienen un ingreso alto. Las mujeres

manifiestan un VST superior al de los hombres para los viajes en el modo principal, pero en el tiempo de espera sucede lo contrario.

En los ferrys, el VST es bastante más reducido: de 1,95 a 6,17 en el caso del ferry rápido para los viajes no acompañados y de 0,53 a 4,48 para la misma categoría en el ferry lento. En el caso de viajes acompañados estas cifras disminuyen considerablemente hasta el rango de 1,27 a 4,32 para el ferry rápido y de 0,04 a 3,00 para el ferry lento.

- *Viajes por motivos de trabajo*

En los viajes por motivos de trabajo, como es lógico, el VST experimenta un impulso notable. Esto se justifica por tres razones (MVA, 1987): i) en primer lugar, se trata de viajes que están constreñidos por más restricciones que los viajes de ocio; ii) Además, las condiciones en que normalmente se hacen este tipo de trabajos suelen ser peores; iii) Por último, en algunas personas viajar al trabajo puede constituir parte de su tiempo laboral.

En particular el VST del avión pasa de 29,66 para los grupos de renta más reducida y frecuencia más baja a 54,11 para los casos de renta más elevada. Si el viaje es acompañado el rango desciende hasta el intervalo [22,09;36,37]. En el otro extremo, el intervalo más bajo se localiza en el ferry lento [1;4,08].

La frecuencia del usuario tiene un efecto dispar: introducida a través del coste, reduce el VST –lo que tendría sentido, pues viajeros más frecuentes manifiestan una mayor desutilidad al precio-, mientras que a través del coeficiente del tiempo, aumenta el VST. Sin embargo el efecto del precio termina dominando y sucede que viajeros más frecuentes tienen, en el avión y el jetfoil, VST menores que los poco frecuentes.

5.4.1.2 *VST de la frecuencia y el acceso*

El VST de acceso puede, en principio, calcularse a través del coeficiente de la tarifa de cada modo o considerando el gasto asociado al acceso y egreso. Esta última, fue la forma en la que lo determinamos aquí, dado que parece más lógico relacionar los modos de acceso con su coste que con el coste del modo principal.

El tiempo de acceso, así calculado, se sitúa en un rango amplísimo de [2,66;51,78] en viajes por razones de trabajo y en el caso de viajes por motivos de ocio de [5,69;64,96]. Parece pues que el VST de acceso supera al del IVT en algunos casos, cuestión coincidente con la literatura (Wardman, 2001).

La frecuencia debe considerarse como un valor absoluto ya que el coeficiente de esta variable es positivo al tratarse del número de expediciones. Debe por tanto interpretarse como el valor monetario de una expedición más. Sus valores son todos inferiores a un euro, registrándose un valor máximo de 0,87 en el caso de

individuos de ingreso alto en el avión y jetfoil y 0,11 para el ingreso bajo en los ferrys.

5.4.1.3 VST espera en las estaciones, puertos y aeropuertos

El tiempo de espera en el modelo analizado depende del modo, por las razones que ya han sido expuestas. Sin embargo, el tiempo de espera considerado en este trabajo es diferente del tiempo de espera que normalmente se considera en los estudios de transporte: se trata de una espera que depende de la estructura del modo; está asociada con los requisitos de acceso al modo y vinculada al comportamiento del individuo; esto es, una espera sin incertidumbre, lo cual reduce previsiblemente el desagrado de la espera

En efecto, los VST de espera encontrados, comparando para un mismo caso SE y en viajes por motivos distintos de trabajo representan entre el 1% y el 45% del tiempo de viaje. Por otro lado, el VST de espera parece disminuir con la frecuencia, lo cual podría interpretarse como el resultado de la adaptación de los pasajeros a las características del modo. Esto significaría que los pasajeros acostumbrados a un modo han interiorizado ese tiempo de espera y lo han adaptado de la mejor manera posible dados sus conocimientos del proceso, mientras que los que utilizan ese modo por primera vez deben asociar un elemento de incertidumbre que no está presente en los primeros y que añade cierta ansiedad a la situación. Así por ejemplo, el VST de espera de los viajeros poco frecuentes es de 10,19 mientras que el de los viajeros frecuentes es 4,63 (para viajeros de ingreso bajo hombres).

En las mujeres el VST del tiempo de espera es más reducido que en los hombres. Al añadir además el efecto de viajar acompañado –que, naturalmente amenizará la espera y reducirá su VST- y en viajes por motivos de ocio –también con un efecto reductor sobre el VST- el VST resulta nulo.

En el caso del tiempo de espera por motivos de trabajo, desaparecen los casos contraintuitivos y el VST aumenta desde 23,88 (ingreso bajo) a 32,82 (ingreso alto) en el caso del avión-jetfoil, siendo el equivalente de los ferias [19,79;24,25]. Las mujeres manifiestan VST considerablemente más bajos y la espera acompañado disminuye los VST de forma destacada.

5.4.2 Estimaciones de ITCVST con variables SE

El problema de estimar intervalos de confianza para ratios complejos, como los que dan lugar a los VST con variables SE, no tiene una solución clara. En particular, la aplicación de la fórmula (5.2) para estos casos resulta excesivamente difícil. Una alternativa interesante es utilizar simulación (Ettema et al. 1997; Armstrong et Al, 2001). En efecto, el vector de parámetros estimados b distribuyen asintóticamente normal $N(\beta, \Sigma)$ siendo β el vector de parámetros verdaderos y Σ la matriz de

covarianza cuyo estimador S se obtiene como el valor esperado del inverso de la matriz de segundas derivadas de la función de log-verosimilitud.

Considérese un vector de variables aleatorias obtenido a partir de una distribución normal $N(b, S)$; se puede simular los distintos valores de b como $b^s = \beta + L\eta$, donde η son las realizaciones de una normal estándar y L es el resultado de la descomposición de Choleksy tal que $LL' = S$ (Train, 2001). Para los valores de β se parte del estimador obtenido en el logit simple.

De acuerdo con esta definición, se realizaron 1.000 simulaciones de cada estimador para lo que fue necesario desarrollar un programa en C. Una vez obtenida la simulación, se calcularon ratios por cada realización, obteniendo así una distribución de cada tipo de VST. A continuación se procedió a eliminar las colas de estas distribuciones de VST de acuerdo a los niveles de significatividad requeridos, obteniendo así las cotas superior e inferior del intervalo.

Las combinaciones posibles de variables SE conducían, como ya se ha referido, a un total de 384 tipos de viajes, de los que sólo se muestran los 10 casos seleccionados en la Tabla 5.6. Las figuras 5.3 y 5.4 muestran el histograma de frecuencias del VST de espera para individuos de ingreso alto acompañados de adultos y del VST de viaje en avión y jetfoil para los grupos de renta alta.

En la distribución del VST de espera para viajeros en ferry, ingreso alto acompañado de adultos, encontramos media y mediana coincidentes (20,04; 19,86); no así la moda, 14,56. Por otro lado, no hay ningún valor negativo.

Un perfil similar se obtiene en el caso del avión-jetfoil: media y mediana muy próximas (21,95; 21,72) y moda diferente: 11,41. En general, de todos los resultados que aquí se muestran se puede decir que no hay valores negativos del VST, que su media y mediana coinciden casi de forma precisa –no así la moda– y que se trata, por tanto, de distribuciones simétricas y normales.

Tabla 5.6: ICVST para MNL con variables SE

MNL-S			
	media	Cota inferior	Cota superior
t avión ingreso medio y alto	40,40	29,35	53,33
t avión, ingreso medio y alto motivo trabajo	43,21	31,86	56,59
t jetfoil ingreso medio y alto	26,19	18,84	34,96
t jetfoil ingreso medio y alto motivo trabajo	29,00	21,21	38,23
t ferry rápido ingreso medio y alto*	2,10	0,44	3,96
t ferry rápido ingreso medio y alto motivo trabajo	3,24	1,41	5,29
espera ingreso medio avión-jetfoil	29,32	21,04	39,05
espera ingreso medio ferrys	23,04	18,51	28,47
espera ingreso medio avión-jetfoil acompañado adultos	20,05	15,88	25,06
espera ingreso medio ferrys acompañado adultos	21,96	14,08	31,05

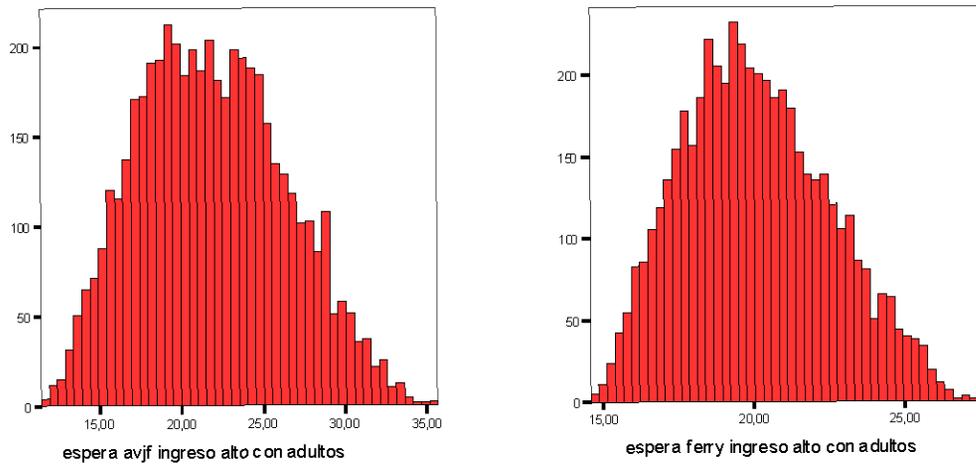


Figura 5.3: Distribución del tiempo de espera

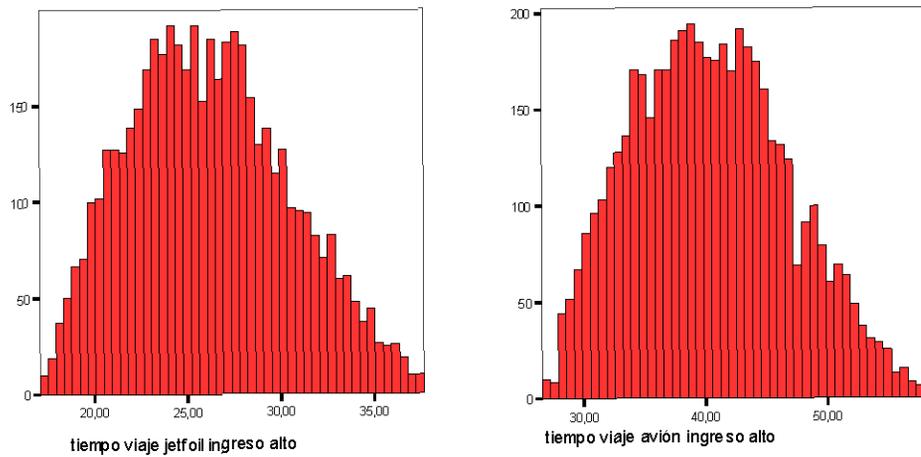


Figura 5.4: Distribución del tiempo de viaie

5.6 Intervalos del VST en el logit mixto

Estimar ITCVST entraña la dificultad añadida de tratar con dos tipos de parámetros (media y desviación poblacional) ya que, como se ha explicado, en esta clase de modelos los coeficientes distribuyen a lo largo de los individuos.

Sillano y Ortúzar (2005) resumen cuatro métodos para obtener intervalos para el VST en el caso del ML:

- 1) *Calcular el ratio de las medias poblacionales*: este sería el método más sencillo, pero no considera la heterogeneidad de la población a pesar de haberla estimado.
- 2) *Simulación*: Método explicado anteriormente y aplicado para calcular los ITCVST en el caso del modelos MNL-S.
- 3) *Aplicar una distribución lognormal*: La distribución lognormal tiene la virtud de que todos sus valores son positivos; por otro lado, el ratio de dos lognormales es una normal. A través de la restricción del signo se controla que el ratio nunca tenga un signo incorrecto. No obstante, las estimaciones basadas en lognormales resultan difíciles de lograr.
- 4) *Fijar los coeficientes del coste*: Si la variable del coste es fija, esto es, no distribuye a lo largo de la población, la heterogeneidad queda representada a través de los coeficientes del tiempo; con esto se logra un cociente que distribuye normal y que, por tanto, permite la fácil obtención de intervalos de confianza (Hensher, 2001).

Este último método en combinación con la fórmula de Armstrong será el aplicado aquí. En efecto, esta técnica postula que, asumiendo que θ_c , el estimador del coste, es fijo, el ratio WTP distribuye como una normal conforme a la expresión:

$$N\left(\frac{\mu_t}{\theta_c}, \frac{\sigma_t}{\theta_c}\right) \quad (5.3)$$

Siendo μ_t y σ_t los estimadores de la media y la desviación poblacional del tiempo de viaje. Considerando que toda la variación aleatoria está radicada en los coeficientes del tiempo –lo cual es coincidente con los resultados obtenidos en el MNL-S- parece apropiado aplicar este método, dada su sencillez. Para los casos en que ambos parámetros del ratio son fijos se aplicará la fórmula (5.2)

Por tanto, para los casos en los que el parámetro del coste es fijo, se utilizará la fórmula (5.2) considerando una distribución como la señalada en (5.3). En el resto de los casos se procederá a simular de la forma descrita en 5.4.2.

Las Tablas 5.7 y 5.8 muestran los resultados del cálculo del ITCVST para el ML-4 y el tamaño relativo de esos intervalos en relación con la estimación puntual. A efectos de comparación entre datos medidos y percibidos se ha seleccionado también el modelo ML-1 M.

Las estimaciones puntuales muestran que los VST de un modelo con datos percibidos, de nuevo, son mayores que el correspondiente con datos medidos. La excepción es el tiempo de espera y ello es así por la diferencia en la forma de introducir las diferentes esperas en el ratio: a través del coste en el caso de la espera para los ferrys y del tiempo en el caso del avión-jetfoil.

Tabla 5.7: ICVST en modelos ML

	ML-4			ML-1 medido		
	Cota inferior	Media	Cota superior	Cota inferior	Media	Cota superior
Espera av-jf	1,51*	9,50*	20,52*	6,11	16,41	32,65
Espera ferrys	5,32	13,36	33,54	2,47	5,92	10,60
Frecuencia av-jf	-1,41	-0,85	-0,05	-1,45	-0,77	-0,17
Frecuencia ferrys	-0,66	-0,41	-0,03	-1,39	-0,77	-0,17
Tiempo acceso y egreso	5,05	16,81	83,88	11,14	13,83	16,51
Tv avión-jetfoil				5,50	7,99	10,48
Tv avión	2,70	17,78	45,46			
Tv jetfoil	1,04	3,34	5,65			
Tv ferry				3,34	6,31	9,32
Tv ferry rápido	5,45	5,91	6,37			
Tv ferry lento	1,29	5,69	8,60			

(*) Intervalos para el 90% de confianza

En el resto de los casos, el VST del modelo ML-4 siempre es superior. Llama la atención la escasa diferencia entre las estimaciones puntuales del VST del ferry y del avión-jetfoil en el ML-1.

Tabla 5.8: Rango de los intervalos en el ML*

	ML-4 percibido		ML-1 medido	
	Tamaño intervalo	(%)	Tamaño intervalo	(%)
Espera av-jf	19,0	200,11%	26,5	161,73%
Espera ferrys	28,2	211,23%	8,1	137,33%
Frecuencia av-jf	1,4	159,62%	1,3	167,69%
Frecuencia ferrys	0,6	153,40%	1,2	158,03%
Tiempo acceso y egreso	78,8	468,95%	5,4	38,83%
Tv avión-jetfoil			5,0	62,33%
Tv avión	42,8	240,49%		
Tv jetfoil	4,6	138,02%		
Tv ferry			5,98	94,69%
Tv ferry rápido	0,9	15,57%		
Tv ferry lento	7,3	128,47%		

(*) Se sombrea las celdas que contienen estimaciones calculadas mediante simulación. El resto se han obtenido aplicando la fórmula 5.1

El tamaño del intervalo, en términos relativos, resulta siempre mayor en el ML-1 que en el ML-4, con la excepción de la frecuencia, en que los intervalos son similares. Los intervalos de confianza calculados por simulación tienden a ser menores, aunque no siempre (por ejemplo, el intervalo para el jetfoil en el ML-4).

Finalmente, resulta útil realizar una comparación cruzada de todos los resultados para los ratios básicos (Tabla 5.9) sin variables SE. Se comprueba que los VST calculados a partir de modelos percibidos son entre 4 y 16% mayores que los procedentes de datos medidos (para una misma especificación).

Tabla 5.9: Comparación transversal de todos los resultados de VST

	Medidos		Percibidos			media	p*
	MNL-1	ML-1	MNL-4	ML-4	MNL-1		
T espera av-jf	16,68	16,41	6,97	9,50	16,13	13,23	0,97
T espera fer	7,01	5,92	12,43	13,36	6,76	9,26	0,96
Tv av-jf	12,63	7,99			13,96	11,83	1,11
Tv avión			32,37	17,78		25,08	
Tv jetfoil			21,72	3,34		12,53	
Tv ferry	1,12	6,31			1,3		1,16
Tv ferry r.			7,99	5,91		5,55	
Tv ferry l.			3,50	5,69		3,57	
Acceg	12,64	13,83	14,02	16,81	13,21	13,89	1,05
Frecuencia av-jf	0,408	0,77	0,50	0,85	0,43	0,59	1,06
Frecuencia ferry	0,1715	0,77	0,22	0,41	0,18	0,38	1,06

(*) p es el cociente entre los percibidos y medidos del MNL-2

La Tabla 5.10 compara resultados de VST para una misma especificación –del modelo 4- entre el modelo ML, MNL y MNL-S. En los dos primeros casos se exponen tanto las estimaciones puntuales del VST, como el tamaño relativo de sus intervalos calculados con la fórmula (5.2) en el MNL-4 y mediante (5.3) en el ML.

Sin embargo, del MNL-S se presentan, no los resultados de los intervalos calculados por simulación en el acápite 5.5.2, sino las estimaciones puntuales de los VST calculados para todos los grupos SE en el apartado 5.5.1. De este modo se obtiene una distribución que representa la heterogeneidad sistemática. De todos estos valores se calcula su media, que, como puede comprobarse no difiere demasiado de la estimaciones del MNL-4 y el ML-4.

Tabla 5.10: Comparación del VST para una misma especificación

	MNL-4		ML-4		MNL-S	
	VST	Rango (%)	VST	Rango (%)	media	Rango (%)
t espera av-jf	6,97	207	9,50	200,1	12,11	270,8
T espera fer	12,43	96,	13,36	211,2	14,44	126,6
Freq av-jf	0,50	202	0,85	159,6	0,68	145,2
Freq fer	0,22	209	0,41	153,4	0,23	65,22
aceg	14,02	564	16,81	468,9	18,46	356
Tv avión	32,37	151	17,78	240,4	33,83	102,1
Tv jetfoil	21,72	105	3,34	138,0	26,5	119,3
Tv ferry r.	7,99	188	5,91	15,5	6,3	159,6
tv ferry l	3,50	178	5,69	128,4	5,83	230,4

* 85% de confianza. ** 90% de confianza

En la Tabla 5.11 se crea un índice que permite la comparación transversal de los resultados; Acá, las estimaciones puntuales del VST han sido normalizadas mediante la media del modelo MNL-S y el rango de los intervalos se ha normalizado con el correspondiente intervalo del MNL-S.

Tabla 5.11: Comparación de los resultados del VST: índices

	MNL-4 p		ML-4		MNL-S	
	VST	Rango (%)	VST	Rango (%)	media	Rango (%)
t espera av-jf	57,6	76,4	78,4	73,9	100,0	100,0
T espera fer	86,1	75,8	92,5	166,8	100,0	100,0
Freq av-jf	73,5	139,1	125,0	109,9	100,0	100,0
Freq fer	95,7	320,5	178,3	235,2	100,0	100,0
aceg	75,9	158,4	91,1	131,7	100,0	100,0
Tv avión	95,7	147,9	52,6	235,5	100,0	100,0
Tv jetfoil	82,0	88,0	12,6	115,7	100,0	100,0
Tv ferry r.	126,8	117,8	93,8	9,7	100,0	100,0
tv ferry l	60,0	77,3	97,6	55,7	100,0	100,0

* 85% de confianza. ** 90% de confianza

La Tabla 5.10 muestra que la media de la distribución de los VST con variables SE puede ser una alternativa al cálculo del VST. Esta media es mayor que las estimaciones puntuales de los modelos MNL y ML excepto en el caso del MNL para el ferry r y las frecuencias del ML. Por otro lado, salvo el tiempo de espera, el tamaño relativo de los intervalos parece menor en el caso del modelo MNL-S.

Sorprende el VST para el jetfoil en el ML. No parece realista ni concordante con las estimaciones procedentes de otros modelos, tampoco coincide con análisis previos hechos en este mercado que sitúan el VST del jetfoil cercano al del avión (González y Ortúzar, 2002).

5.5 Conclusiones sobre el VST

Las conclusiones serán agrupadas de acuerdo a varios conceptos esenciales: la comparación con el salario-hora, que es uno de los temas recurrentes en la literatura; la heterogeneidad encontrada; la relación entre los VST de los diferentes segmentos del viaje (IVT, acceso, egreso y espera) y, finalmente, una reflexión sobre los componentes del VST.

• Comparación con el salario-hora

Como se ha señalado en el capítulo 4, es motivo de una larga discusión en la microeconomía, la relación entre el VST y el salario-hora. Trabajos pioneros como el de Beesley (1965) apuntaban hacia un VST entre el 30 y el 50% del salario hora en viajes al trabajo. Otros estudios como el de Bruzelius (1979) o la revisión de Waters (1996) señalaban que el VST podría constituir como entre el 20 y el 50% del salario-hora en periodo de trabajo.

Sin embargo, otros análisis estimaron VST superiores al salario-hora, como la revisión de Harrison (1974) que halla un VST en un rango del 1,3 a 2,1 veces el salario-hora. También la revisión realizada por MVA (1987) sugiere que el VST en viajes por motivo de trabajo podría situarse por encima del salario-hora.

En esta línea se sitúan otros trabajos dirigidos a mercados más específicos: Así, Gronau (1974) en su estudio sobre el valor del tiempo de las amas de casa obtuvo estimaciones por encima del salario hora (13%-22%). Mackie y Simon (1986) llegaron a la conclusión de que, entre los operarios de transporte el VST se encontraba alrededor del salario-hora. Más recientemente Lam y Small (2001) en un modelo que analizaba la elección de los conductores entre el peaje de una autopista o una alternativa gratuita encontraron VST alrededor del 72%, 48% y 101% del salario-hora medio de los individuos de la muestra.

La Tabla 5.12 expone los trabajos referidos y sus principales conclusiones. Los resultados no son coincidentes y más bien parecen refutar la hipótesis que relaciona el VST con el salario hora excepto para ciertos segmentos particulares de usuarios como los operarios de transporte. Lo que parece claro es que el VST del tiempo de ocio se encuentra por debajo del salario-hora en las estimaciones de todos los estudios, lo que coincide con los planteamientos teóricos, ya que se supone que en tiempo de ocio, no hay coste de oportunidad en términos de salario-hora.

Tabla 5.12: Relación de estudios sobre el VST y su relación con el salario-hora

Año	Autor	VST en proporción del ω^*		Tipo de estudio
		Ocio	trabajo	
1965	Beesley		0,3-0,5	Transporte Urbano.
1974	Harrison	VST < ω	1,3-2,1	Revisión
1974	Gronau		1,13-1,2	Estudio amas de casa
1979	Bruzelius		0,2-0,3	Revisión
1986	Mackie y Simon		VST \approx ω	Sólo operarios de transporte
1987	Adler	0,2-0,35	VST \approx ω	Transporte interurbano
1987	MVA et al		VST > ω	Revisión
1996	Waters		0,4-0,5	Revisión
2001	Lam y Small		0,72-1,01	Transporte interurbano

(*) ω es el salario-hora. Se somborean las revisiones de varios trabajos.

De todos los datos expuestos anteriormente, sería recomendable seguir los resultados del modelo MNL-4, esto es, 32,37 y 21,72 para el avión y el jetfoil y 7,99 y 3,50 para el ferry rápido y lento respectivamente. Durante el periodo en que fue realizada la encuesta, el salario-hora medio en Canarias era de 8,62 € que, salvo en el caso de los ferrys, se encuentra notablemente por debajo de los VST recomendados.

González-Savignat (2004), en su estudio sobre la implantación del tren de alta velocidad entre Barcelona y Madrid, encuentra un VST de avión entre 37 a 55 para viajes de ocio y trabajo respectivamente; además, el VST de acceso discurre entre 15 y 22 en esa investigación. La actualización del trabajo de González (2002) basado en una encuesta de 1992, conduciría a VST de 12 para el avión y el jetfoil y de 2,17 para el ferry lento⁴³.

⁴³ En 1992, el ferry rápido no había entrado en servicio.

La Tabla 5.13 muestra los VST calculados en diversos proyectos europeos que pueden cotejarse con los expuestos aquí; si bien, la comparación solo es posible de forma directa en los viajes de avión. Así, se tiene que el VST de avión en Europa oscila entre 40,60 y 10,00; de modo que los valores obtenidos aquí pueden encontrarse, en lo que respecta a los viajes de avión dentro de ese intervalo.

Tabla 5.13: VST estimados en Europa (precios de 1998)

Estudio	HCG 1994	HCG 1998	SNRA 1997	EUNET 1998	UNITE 1998
Coches /motocicletas					
Todos		6,70	9,31		
Trabajo	21,23	21,00	11,95		21,00
Ocio	3,79	5,08	3,10		4,00
Autobús (interurbano)					
Trabajo	21,23				21,00
Ocio	3,08		4,37		4,00
Autobús urbano					
Trabajo	21,23				21,00
Ocio	3,08		3,22		3,20
Tren interurbano					
Trabajo		18,43	11,95		21,00
Ocio		4,41	4,49		4,70
Tráfico aéreo					
Todos				40,60	
Trabajo			16,20		28,50
Ocio			10,11		10,00

Todo lo anterior nos lleva a sostener que no existe una relación clara entre el VST y el salario-hora. Además, al menos en el caso interurbano, este VST es considerablemente superior al salario-hora. Comparando con la evidencia disponible, podemos afirmar que nuestros resultados se asemejan a los de González y Ortúzar (2002) en el modo ferry aunque resultan considerablemente superiores en el avión y jetfoil. Por otro lado, algunos de los VST obtenidos parecen cercano a los reportados por González-Savignat, especialmente en el tiempo de acceso.

Se podría argüir que en un sistema económico donde la mayor parte de la población activa no elige ni la cantidad de horas que trabaja ni la forma en que las asigna a lo largo de su tiempo disponible, el principal argumento que conduce a la regla salarial se debilita. Por otro lado, hay que subrayar que este trabajo analiza una ruta interurbana donde no hay modos terrestres, en particular el coche, que compitan con los modos principales; si bien es cierto que el coche puede transportarse en los ferrys, aunque esto queda fuera del alcance de este estudio.

• *Heterogeneidad*

Uno de los propósitos de este trabajo ha sido analizar la heterogeneidad y la mejor forma de capturarla y medirla. Steimetz y Brownstone (2005) encuentran que el VST varía mucho de acuerdo con las características de los conductores a partir de

la respuesta a peajes urbanos. En este sentido, Wardman (2001) recomienda que los proyectos de evaluación pública se adapten los estudios a las circunstancias de cada caso.

En todo caso, en esta tesis se ha encontrado una amplia heterogeneidad en las estimaciones del VST: variedad entre los modelos, tipos de datos, y entre la población (ya sea heterogeneidad aleatoria del ML o la sistemática del MNL-S). A partir de los datos reportados se puede concluir lo siguiente:

- a. Los modelos con datos medidos frente a los percibidos proporcionan menores VST, un poco más reducidos aunque no más significativos. Como media los VST procedentes de modelos con datos percibidos son un 10% más elevados que los equivalentes de datos medidos.
- b. El rango de los intervalos es claramente superior en el caso de los VST provenientes de modelos con datos medidos.
- c. Los VST reportados por el ML en comparación con el MNL se asemejan en el tiempo de espera, acceso y frecuencia, pero en cambio difieren sustancialmente en el VST de los modos principales. Parece que, en este caso, el MNL proporciona una jerarquización lógica y más acorde con los análisis previos que el ML.
- d. La heterogeneidad en la población puede introducirse de forma aleatoria mediante el ML o a través de relaciones sistemáticas en el MNL-S. En este caso se propone una forma alternativa de crear intervalos a partir de las estimaciones puntuales de un modelo con variables SE. Sus valores medios resultan superiores a los de los otros dos modelos ML y MNL.
- e. La mayor variación corresponde a la distribución del TV jetfoil (en el análisis de los intervalos SE)

• *Relación de los VST entre sí*

La relación de los VST entre sí es otro de los aspectos más discutidos en la literatura. Existe la convención de que el tiempo de espera, por ejemplo, se percibe como dos a tres veces más oneroso que el tiempo dentro del vehículo (IVT). En efecto, la espera puede ser experimentada como un intervalo vacío dentro del viaje, cuya duración además, puede estar sujeta a incertidumbre mientras que el viaje está ligado al fin último del desplazamiento (Piaget y Mellan-Backs, 1965).

Trabajos pioneros como el de Quarmby, (1967), entre otros, encontraron evidencias de esta relación. Por su parte, Wardman (2001) en su meta estudio sobre la mayor parte de los VST estimados en el Reino Unido encuentra una relación entre el tiempo de espera y el tiempo dentro del vehículo de 1,6 veces. Sin embargo, el propio Wardman (2004) considera que esta relación está erróneamente influenciada por los estudios de preferencias declaradas siendo los valores de

tiempo de espera y caminata demasiado bajos y recomienda, finalmente, establecer el tiempo de espera como 2,5 veces el IVT.

Sin embargo, como ya se ha señalado, el tiempo de espera determinado en este trabajo tiene una naturaleza diferente de la espera para trayectos urbanos, que es la habitualmente considerada en estos estudios. En efecto, aquí se analiza un tiempo de espera estructural, sin incertidumbre asociada, que tiene que ver con la forma de acceso al modo, con la información de que dispone el sujeto y sus características. A partir de este razonamiento y, de acuerdo, con los resultados obtenidos, es posible señalar lo siguiente:

- A diferencia de los estudios señalados, la relación VST espera / VST del modo principal es menor que 1 salvo para los ferrys (Tabla 5.14).
- Además, los viajeros frecuentes tienen un VST espera menor, lo que indica la mejor calidad de su información y su adaptación a esa espera.
- por otro lado parece claro, a partir del modelo MNL-4, que es más agradable esperar en el aeropuerto o en la estación del jetfoil.

Tabla 5.14: Relación de los parámetros entre sí (índice)

	VST	t espera av-jf	T espera ferry	MNL-4				
				aceg	Tv Avión	Tv jetfoil	Tv ferry r.	tv ferry l
t espera av-jf	6,97	100,0	56,1	49,7	21,5	32,1	87,2	199,1
T espera fer aceg	12,43	178,3	100,0	88,7	38,4	57,2	155,6	355,1
Tv avión	14,02	201,1	112,8	100,0	43,3	64,5	175,5	400,6
Tv jetfoil	32,37	464,4	260,4	230,9	100,0	149,0	405,1	924,9
Tv ferry r.	21,72	311,6	174,7	154,9	67,1	100,0	271,8	620,6
Tv ferry l	7,99	114,6	64,3	57,0	24,7	36,8	100,0	228,3
tv ferry l	3,5	50,2	28,2	25,0	10,8	16,1	43,8	100,0

Esto es relevante, dado que este es el primer estudio en España que analiza este tipo específico de espera, tan importante en los trayectos interurbanos y normalmente ausente en los estudios de transporte; en parte por la dificultad de determinar la espera, en parte por el hecho de que se acostumbra a añadir cierto tiempo fijo como espera (considerando una característica del modo que no tiene nada que ver con el sujeto), lo que no parece realista.

El tiempo de acceso envuelve una cadena de diferentes actos tales como espera (en los paraderos de autobús), caminata, viajes en coche o autobús y trasbordos; todo lo cual resulta más molesto e inconveniente que el tiempo dentro del modo principal. Por estas razones se entiende que este VST del acceso deba ser superior al IVT (Wardman, 2004)

Los resultados de la Tabla 5.14 muestran que el VST de acceso representa 0,43 del VST de IVT en el caso del avión, 0,64 para el jetfoil, 1,75 para el ferry rápido y 4 en el caso del ferry lento. Sucede así que solamente el ferry rápido coincide con las

cifras reportadas por Wardman (2001) que señala una relación entre el VST del tiempo de acceso y del IVT de 1,8. Hay que considerar, no obstante, que la revisión de Wardman se sitúa en contextos urbanos y está referida al Reino Unido.

González-Savignat (2004) estima VST de 22 para el acceso y 55 para el IVT en el modo avión; se trata de una relación de 0,4 entre ambas variables, que coincide con la hallada en este estudio para el avión. El caso de los ferrys está influido por su menor VST de IVT y, en el ferry rápido, también por su peor localización.

Los VST del modo principal establecen la siguiente jerarquía: el VST del jetfoil es el 67% del correspondiente al avión, el ferry rápido el 24% y el ferry lento el 10%.

Como se ha explicado, la frecuencia está relacionada con la posibilidad de asignar eficientemente el tiempo. Los resultados muestran al modo avión como aquel que valora más la frecuencia en términos de tiempo de viaje, seguido por el ferry rápido y finalmente el jetfoil y ferry lento con valores similares.

- *Los componentes del VST*

Como se ha expuesto, el VST se calcula como el ratio de la UM del tiempo y del coste. A partir de esta definición, como se explicó en el capítulo 2, el VST puede desdoblarse en dos términos fundamentales: el numerador se descompone entre la UM del tiempo procedente de su coste de oportunidad y la utilidad marginal relacionada con las condiciones del viaje en el modo. La primera parte alude al valor del tiempo como recurso, la segunda al desagrado del propio viaje.

Por esta razón, la variación que se registra en el VST tiene dos fuentes: hay una variación relativa a los individuos, que afecta a todos los VST (VST como recurso), pero hay otra relativa a los modos que afecta a esa segunda parte (VST del modo) y que, naturalmente, no opera en el caso de tiempos de viaje fuera del modo como caminata y espera (Wardman, 2004).

La Tabla 5.15 es similar a la Tabla 5.5 que mostraba las estimaciones puntuales de VST con variables SE para viajes al trabajo pero normalizada respecto de los viajes de avión.

Se observa un patrón claro de variación intermodal –descontada la intergrupos, ya que es un análisis dentro del mismo grupo– en el que el VST del jetfoil representa el 67% del avión, el ferry rápido entre el 10 y el 16% y el VST del ferry lento supone un 9% del correspondiente al avión. Estas diferencias deben atribuirse a los modos y no a las características de los individuos y se respetan con independencia del grupo. La regularidad en estas proporciones es bastante notable.

Jara-Díaz y Guevara (2003) desarrollan una metodología para calcular, de forma precisa los dos componentes del VST⁴⁴. Sus resultados demuestran cómo el VST modal es muy superior al VST como recurso (o VST de ocio)

Tabla 5.15: VST avión viajes al trabajo. Estimaciones puntuales

frecuencia	No va acompañado				Va acompañado			
	Ingreso bajo		Ingreso alto		Ingreso bajo		Ingreso alto	
	H	M	H	M	H	M	H	M
avión								
Baja	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Media	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Alta	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
jetfoil								
Baja	66,1%	66,7%	67,4%	67,9%	65,0%	65,5%	66,3%	66,8%
Media	68,9%	69,3%	69,9%	70,4%	67,9%	68,4%	69,0%	69,5%
Alta	70,9%	71,3%	71,8%	72,2%	70,0%	70,4%	59,0%	59,4%
ferry rápido								
Baja	10,5%	11,1%	9,6%	10,0%	10,3%	11,1%	10,5%	11,1%
Media	13,7%	14,2%	11,9%	12,3%	14,2%	14,8%	13,6%	14,1%
Alta	17,4%	17,9%	13,6%	14,0%	17,9%	18,6%	14,4%	14,8%
ferry lento								
Baja	5,7%	6,4%	5,9%	6,4%	4,8%	5,6%	5,9%	6,6%
Media	9,3%	9,9%	8,5%	9,0%	9,0%	9,8%	9,3%	9,9%
Alta	12,9%	13,5%	10,5%	10,8%	12,9%	13,6%	10,8%	11,2%

5.8 Validación, predicción y análisis de sensibilidad

La validación de un modelo es la forma en que éste demuestra su verdadero poder de explicación, pues se trata de comprobar si es capaz de predecir el comportamiento del mercado cuando suceden cambios en las variables de servicio o se introduce un nuevo modo. Habitualmente, los modelos se validan sólo utilizando parte de las observaciones de la muestra usada para estimar el modelo. En este caso, como se ha explicado, el mercado objeto de estudio experimentó importantes cambios que resultan muy interesantes para validar el modelo, ya que uno de los modos fue sustituido por otro. En efecto, reemplazar el jetfoil por un ferry rápido supuso una alteración de las variables de servicio: precios más baratos, un aumento del tiempo de viaje y un cambio de los oferentes que el modelo debería ser capaz de reproducir.

En esta sección se analizará la capacidad de predicción de los modelos seleccionados anteriormente. Posteriormente se realiza un análisis de sensibilidad considerando predicciones de cambios de la demanda ante variaciones de las variables de servicio y un cuadro de elasticidades cruzadas.

⁴⁴ Sin embargo, para aplicarlo en este caso sería necesario el conocimiento preciso de las horas de trabajo de cada viajero.

5.8.1 *Supuestos en torno al número de pasajeros sin coche*

Dentro de esta ruta hay una gran cantidad de pasajeros que se desplazan con automóvil. Sin embargo, aquí se ha considerado sólo la parte del mercado que viaja sin coche, que es la que se enfrenta a un conjunto de elección compuesto por los cuatro modos. Los pasajeros que embarcan su coche, podían elegir —en el momento en el que se hizo la encuesta— entre el ferry rápido (donde masivamente se desplazaban) y el ferry lento. Durante el tiempo que estuvo en servicio el nuevo modo también existió esa opción para pasajeros con coche.

En consecuencia, el primer problema que hemos de abordar a la hora de establecer predicciones con los modelos calibrados, es determinar el número de pasajeros sin vehículo. Lamentablemente, esta tarea no es fácil: la información disponible contiene el número de pasajeros, así como el de coches, pero no señala la proporción de éstos que viajan en automóvil. Las empresas no hacen un registro sistemático de los mismos y resultó imposible recabar información más allá de algunos índices de ocupación más o menos imprecisos.

Definimos el índice de ocupación A_i como el número de personas que, como media, viajan en coche en el modo i . Éste índice varía notablemente con las estaciones: las empresas proporcionaron ciertas cifras, nosotros tomamos algunas mediciones y, por otro lado, es lógico pensar que A_i decrece a medida que el ratio de vehículos transportados/pasajeros totales aumenta.

Considerando estas tres fuentes se elaboró una lista de índices de ocupación (máximo en verano, mínimo en enero) a partir de la cual fue posible separar a los pasajeros sin coche del resto. Naturalmente este procedimiento sólo opera para los ferrys, pues en los otros modos no es posible viajar con coche.

El periodo de estudio sobre el que se proyecta la predicción discurre de noviembre de 2004 a marzo de 2005, meses para los cuales se disponían datos y poco antes de que el nuevo modo también anunciase su cierre definitivo.

5.8.2 *Predicción del nuevo modo*

En primer lugar hay que definir qué criterios se utilizarán para determinar la calidad de la predicción. Es posible que estemos interesados en particular en la predicción de la demanda del nuevo modo o en la de todos los modos. Para el primer caso, un objetivo lógico sería minimizar el error absoluto en la predicción, considerando que error en la predicción se define como la diferencia entre el valor predicho por el modelo P y la cuota que efectivamente alcanzó el nuevo modo en la realidad R . Otra posibilidad es minimizar la varianza de los errores de la predicción o bien utilizar un estadístico *ad hoc*. Estos tres criterios se explican a continuación:

- a) (5.4) representa el error absoluto del modo i . El criterio consiste en minimizar e_i para el nuevo modo.

$$e_i = |R_i - P_i| \quad (5.4)$$

- b) Minimizar la varianza de los errores de todos los modos

$$\text{var} = \sum_i (P_i - R_i)^2 \quad (5.5)$$

- c) Construir el estadístico Ω que es una variable aleatoria que distribuye como una χ^2 con $m-1$ grados de libertad, siendo m el número de sumandos (Ortúzar, 2000).

$$\Omega = \frac{\sum_i^m (R_i - P_i)^2}{R_i} \quad (5.6)$$

Este test está pensado para contrastar la capacidad de predicción del modelo o discernir entre varios modelos, en el caso de disponer de una muestra de validación. En este caso, no se dispone de una muestra de validación, sino de la partición modal, por tanto $m = 4$. La aplicación del test implica que se acepta la hipótesis de que el modelo es consistente con los datos siempre que $\chi^2 < \chi^2_{0.95}$ para tres grados de libertad.

Al nuevo modo, al tratarse de un ferry rápido, se le asignarán los coeficientes del ferry rápido, tanto para la tarifa como para la espera y el tiempo de viaje. Finalmente, es preciso definir una constante modal para el nuevo modo. Una posibilidad es asignarle la constante modal del ferry rápido (constante 3), dado que se trata de una embarcación de similares características; sin embargo, también hay razones para suponer que le corresponde la constante modal del antiguo jetfoil (constante 2), dado que se trata de la misma empresa que ahora gestiona este nuevo modo y, sobre todo, parte del mismo sitio y llega al mismo punto. Se decidió probar cuál era el efecto de cada constante modal en la precisión de la validación.

Por definición, los modelos reproducen la muestra y no la realidad. Existe, sin embargo, una forma de ajustar las constantes modales con los datos reales para que el modelo reproduzca la realidad en el caso del MNL. Este procedimiento consiste en calcular una nueva constante C' como función de la constante original C aplicando el siguiente factor de corrección (Ortúzar y Willumsen, 2001):

$$C' = C - \log(q/Q) \quad (5.7)$$

Donde q es la proporción de mercado en la muestra y Q en la realidad. Ahora bien, surge la cuestión aquí de qué momento elegir para este ajuste, dado que Q depende del tiempo. El periodo en el que se hizo la encuesta podría ser lo más adecuado, sin embargo; si se trata de explorar las posibilidades de un nuevo

modo, es mejor considerar la situación justo antes del lanzamiento del mismo utilizando la última información disponible aunque este momento no coincida con el que se hizo la encuesta. Este será el método aplicado en este caso: la encuesta se hizo de julio de 2002 a marzo de 2003, pero las proporciones Q del mercado real son extraídas del primer trimestre de 2003, justo antes del inicio del servicio del nuevo ferry.

La Tabla 5.16 presenta los resultados de la predicción basándonos en los tres indicadores descritos anteriormente aplicados en los modelos MNL-S, MNL-1 M, ML-4 y MNL-4 combinados con la constante modal del jetfoil (2) y el ferry rápido (3) aplicada al nuevo modo. De acuerdo con esta tabla el modelo MNL-S es el mejor en cuanto al estadístico Ω , aunque las diferencias con respecto a los otros modelos no serían significativas para una χ^2 con tres grados de libertad en ningún caso.

Respecto de los otros dos indicadores, el modelo MNL-1 M es el mejor aunque el MNL-S es muy similar y a clara distancia de los otros modelos. Por otro lado se comprueba que es mejor sustituir la constante del nuevo modo por la del jetfoil.

Tabla 5.16: Clasificación de modelos por la calidad de su predicción

Modelo	Cte	Ω		var		e	
		r	valor	r	valor	r	valor (%) e
MNL-S	2	1	2,953E-03	2	3,67E-04	2	1,26E-02 9,23%
MNL-1 M	2	2	3,876E-03	1	3,38E-04	1	3,36E-03 2,45%
MNL-4	3	3	5,903E-02	3	9,08E-03	3	7,69E-02 55,99%
MNL-S	3	4	6,300E-02	5	1,03E-02	5	8,51E-02 62,02%
MNL-4	2	5	7,042E-02	4	1,03E-02	4	8,18E-02 59,60%
ML-4	3	6	1,819E-01	6	5,04E-02	6	9,78E-02 71,25%
MNL-1 M	3	7	3,534E-01	8	6,34E-02	8	2,02E-01 147,36%
ML-4	2	8	3,338E-01	7	6,00E-02	7	1,84E-01 134,02%

r es la posición en el ranking del valor correspondiente. 2 y 3 son las constantes del jetfoil y ferry rápido respectivamente

De acuerdo con el estadístico Ω el mejor modelo es el MNL-S que resulta, además, el de mayor $l(\theta)$ de todos los modelos estimados. Es interesante observar que el único modelo seleccionado estimado con datos medidos manifieste también muy buenos resultados.

El hecho de que la constante del jetfoil parezca adaptarse mejor a la proyección con el nuevo modo, podría explicarse si se considera que el nuevo modo conserva muchas características del anterior: lo gestiona la misma empresa, sale del mismo lugar, disfruta de la misma infraestructura de atraque y la misma gestión de venta

Finalmente cabe destacar que las predicciones con MNL son mejores que con ML. Sin embargo, esto no debe interpretarse como una invitación a desdénar este tipo de modelos sino como la manifestación de que, dada la calidad de los datos de la muestra, la sencillez del MNL potenciada con la heterogeneidad no aleatoria del MNL-S puede resultar una alternativa interesante al ML.

5.8.3 La constante modal como variable de optimización

El objetivo de esta sección es determinar aquella constante modal C^* que lograría minimizar los errores de la predicción. Para lograrlo, se establece un problema de optimización que consiste en minimizar la varianza considerando como variable objetivo a la constante modal C .

La Tabla 5.17 muestra los resultados de esa C^* para los modelos anteriores, clasificada de acuerdo a la mínima varianza de los errores encontrada. De nuevo, es el modelo MNL-S el mejor situado en este ranking; por otro lado, la Tabla 5.18 expone los resultados de la constante C^* comparados con las otras constantes.

Tabla 5.17: Ordenamiento en función de la mínima varianza

Constantes modales			modelo	C^*	var	e
jetfoil	Ferry r	Ferry l				
1,327	2,178	-1,592	MNL-S	1,464	0,00005	0,00045
-0,042	1,646	-2,220	MNL-1 M	0,3990	0,0004	0,00001
1,01	2,69	-0,939	MNL-4	1,893	0,00065	0,01929
13,158	9,008	2,857	ML-4	11,12	0,0256	0,00071

En la Tabla 5.18 se relaciona C^* con las otras constantes modales. La constante óptima resulta superior a la del jetfoil (hay algo positivo en la utilidad que esa constante no recoge) e inferior a la del ferry rápido; excepto en el caso del ML-4 que es al revés. Para el MNL-S, C^* se encuentra más próxima al jetfoil que al ferry rápido, mientras que en el caso del MNL-1 M y MNL-4 es al revés.

Tabla 5.18: Relación de C^* con las constantes modales

modelo	C^*	Diferencia ¹		(%) diferencia ²		Índice C^{*3}	
		jetfoil	Ferry r	jetfoil	Ferry r	jetfoil	Ferry r
MNL-S	1,464	0,137	-0,714	10,3%	-32,8%	110,3	67,2
MNL-1 M	0,399	0,441	-1,247	-1050,0%	-75,8%	-950,0	24,2
MNL-4	1,893	0,883	-0,797	87,4%	-29,6%	187,4	70,4
ML-4	11,12	-2,038	2,112	-15,5%	23,4%	84,5	123,4

¹ diferencia entre C^* y las constantes 2 y 3; ² porcentaje de esa diferencia sobre 2 y 3; ³ índice de C^* sobre 2 y 3

En todo caso, de acuerdo con estos resultados, C^* cae en medio de esos dos modos de manera tal que recoge parte de las características de uno y otro, lo que resulta muy interesante pues efectivamente el nuevo modo conserva ciertas características del jetfoil pero es un ferry rápido.

5.8.4 Análisis de sensibilidad

Para efectuar un análisis de sensibilidad se utilizaron los modelos MNL-1 M y el MNL-S que son los que mejor resultados proporcionaron términos de su capacidad

de predicción. En primer lugar se calcularon las elasticidades directas y cruzadas para cada atributo a través del programa Alogit; luego se determinaron las variaciones de demanda resultado de un incremento del 10% en las tarifas y los tiempos así como un aumento de la frecuencia en una expedición.

5.8.4.1 Elasticidades

Las Tablas 5.19 y 5.20 listan las elasticidades directas y cruzadas para los modelos MNL-1 M y MNL-S respectivamente. Siguiendo los resultados del MNL-S, se observa cómo las elasticidades más importantes corresponden al precio, siendo el tiempo de acceso y egreso un atributo menos relevante. Dentro de las elasticidades del precio destaca la del ferry rápido, seguido del avión y el jetfoil, siendo, no obstante, la elasticidad del ferry lento bastante destacada. Se sigue de esta relación que el ferry rápido es el modo más precio-preferente; el ferry rápido debiera seguirle en esta preferencia y ciertamente su elasticidad es elevada, pero hay que considerar los bajos precios de partida de ese modo que, naturalmente, aglutina a todos los precio-preferentes del mercado.

Tabla 5.19: Análisis de elasticidades: Modelo MNL-1 (datos medidos)

	Avión	Jetfoil	Ferry r	Ferry l	
tarifa	-2,1957	1,2414	0,8856	0,2405	Avión
	0,9156	-1,6771	0,8187	0,2453	Jetfoil
	0,7674	0,9332	-3,4590	0,3461	Ferry rápido
	0,6136	0,8170	1,0027	-1,5840	Ferry lento
Tv	-0,5391	0,7713	0,0634	0,1197	Avión
	0,2248	-1,0738	0,0593	0,1285	Jetfoil
	0,1848	0,5929	-0,2518	0,1701	Ferry rápido
	0,1557	0,5736	0,0757	-0,8023	Ferry lento
Tiempo espera	-1,0658	0,4768	0,1348	0,1419	Avión
	0,4424	-0,6588	0,1234	0,1638	Jetfoil
	0,3682	0,3637	-0,5240	0,2157	Ferry rápido
	0,3093	0,3453	0,1524	-1,0014	Ferry lento
frecuencia	0,4671	-0,0511	-0,0448	-0,0088	Avión
	-0,1933	0,0726	-0,0438	-0,0098	Jetfoil
	-0,1635	-0,0416	0,1799	-0,0122	Ferry rápido
	-0,1340	-0,0388	-0,0512	0,0594	Ferry lento
aceg	-0,2792	0,1475	0,1204	0,0471	Avión
	0,1122	-0,2114	0,1148	0,0436	Jetfoil
	0,0949	0,1170	-0,4907	0,0562	Ferry rápido
	0,0928	0,1207	0,1554	-0,2823	Ferry lento

Las elasticidades cruzadas reflejan los modos alternativos más próximos al modo en cuestión que claramente son los modos avión y jetfoil entre sí – en particular destaca la elasticidad de 1,24 del avión respecto de los precios del jetfoil-. Por otro lado los dos ferrys forman un binomio pero el ferry rápido, dada su posición central en el sistema, puede afectar a todos los modos.

En cuanto a las elasticidades demanda-tiempo, es considerablemente alta la elasticidad directa del jetfoil seguida por la del avión. Las elasticidades cruzadas muestran la relación avión-jetfoil frente a los ferrys entre sí. El tiempo de espera es menos importante en esta relación y sorprende encontrar que es el ferry lento el modo más sensible al tiempo de espera seguido del avión aunque también hay que considerar que es, de hecho, el modo donde se espera más tras el avión.

Tabla 5.20: Tabla de elasticidades: modelo MNL-S

	Avión	Jetfoil	Ferry r	Ferry l	
tarifa	-2,8191	1,6756	0,9759	0,2051	Avión
	1,2420	-2,1319	0,8879	0,2229	Jetfoil
	1,0052	1,1834	-3,5852	0,2919	Ferry rápido
	0,5838	0,8598	0,8265	-1,3828	Ferry lento
Tv	-1,4771	1,5614	0,1274	0,0480	Avión
	0,6520	-2,0467	0,1194	0,0550	Jetfoil
	0,5123	1,1497	-0,4794	0,0679	Ferry rápido
	0,3227	0,8949	0,1146	-0,3305	Ferry lento
Tiempo espera	-0,8296	0,4019	0,2693	0,1989	Avión
	0,3668	-0,5220	0,2441	0,2761	Jetfoil
	0,2941	0,2894	-0,9925	0,3303	Ferry rápido
	0,1708	0,2268	0,2349	-1,5659	Ferry lento
frecuencia	0,3608	-0,0423	-0,0362	-0,0044	Avión
	-0,1595	0,0568	-0,0348	-0,0063	Jetfoil
	-0,1331	-0,0330	0,1375	-0,0076	Ferry rápido
	-0,0670	-0,0251	-0,0320	0,0358	Ferry lento
aceg	-0,2117	0,1222	0,0917	0,0246	Avión
	0,0913	-0,1660	0,0932	0,0277	Jetfoil
	0,0745	0,0963	-0,3668	0,0333	Ferry rápido
	0,0504	0,0767	0,0935	-0,1660	Ferry lento

En relación con la elasticidad demanda-frecuencia se observa que este atributo resulta especialmente apreciado por el avión y el ferry rápido. Por otro lado, el tiempo de acceso y egreso tiene su máximo en el ferry rápido, con una elasticidad de -0,49, lo cual resulta lógico dada la relativa lejanía de su puerto de partida respecto de los núcleos importantes de población.

Con respecto al modelo MNL-1 M hay algunas diferencias: el tiempo de espera ofrece una jerarquía más lógica, con una elasticidad encabezada por el avión, más importancia de la frecuencia en el avión y más destacada la sensibilidad del ferry rápido a los tiempos de acceso y egreso.

5.8.4.2 Análisis de sensibilidad

Las Tablas 5.21 y 5.22 exponen los resultados, calculados mediante Alogit, de cómo varía la demanda ante aumentos de la tarifa, tiempo de viaje, tiempo de espera y tiempo de acceso y egreso en un 10%, así como de aumentos de la frecuencia en una expedición.

Tabla 5.21: Modelo de Tabla de predicciones. MNL-1 M

	Avión	Jetfoil	Ferry r	Ferry l	
Δ 10% tarifa	-20,5	8,7	7,0	5,6	Avión
	11,9	-15,9	8,8	7,6	Jetfoil
	7,9	7,3	-30,5	8,6	Ferry rápido
	2,2	2,3	3,2	-14,9	Ferry lento
Δ 10% Tv	-4,9	2,1	1,7	1,4	Avión
	7,5	-10,4	5,7	5,5	Jetfoil
	0,6	0,6	-2,4	0,7	Ferry rápido
	1,2	1,3	1,7	-8,0	Ferry lento
Δ 10% Tiempo espera	-10,1	4,2	3,4	2,8	Avión
	5,0	-6,9	3,8	3,6	Jetfoil
	1,5	1,3	-5,7	1,6	Ferry rápido
	1,4	1,6	2,1	-9,8	Ferry lento
Δ 10% del tiempo aceg	-2,8	1,1	1,0	0,9	Avión
	1,5	-2,1	1,2	1,2	Jetfoil
	1,2	1,1	-4,9	1,5	Ferry rápido
	0,5	0,4	0,6	-2,9	Ferry lento
Δ frecuencia en una expedición	2,9	-1,2	-1,0	-0,8	Avión
	-1,7	2,4	-1,4	-1,3	Jetfoil
	-0,8	-0,7	3,0	-0,9	Ferry rápido
	-0,4	-0,5	-0,6	3,0	Ferry lento

Tabla 5.22: Modelo de Tabla de predicciones. MNL-S

	Avión	Jetfoil	Ferry r	Ferry l	
Δ 10% tarifa	-21,5	12,9	8,0	1,9	Avión
	9,6	-16,8	7,4	2,1	Jetfoil
	7,5	9,3	-29,8	2,8	Ferry rápido
	4,3	7,4	7,1	-12,9	Ferry lento
Δ 10% Tv	-15,0	17,5	2,3	1,2	Avión
	6,7	-22,2	1,9	1,1	Jetfoil
	5,2	12,4	-7,7	1,4	Ferry rápido
	3,0	8,8	1,5	-7,0	Ferry lento
Δ 10% Tiempo espera	-6,1	3,2	2,8	1,6	Avión
	2,6	-4,7	2,7	2,3	Jetfoil
	2,5	3,4	-10,6	2,7	Ferry rápido
	0,9	1,7	2,2	-12,9	Ferry lento
Δ frecuencia en una expedición	3,9	-2,5	-1,1	-0,3	Avión
	-1,7	3,0	-0,9	-0,4	Jetfoil
	-1,5	-1,8	3,8	-0,5	Ferry rápido
	-0,6	-1,0	-0,7	2,3	Ferry lento
Δ 10% del tiempo aceg	-3,0	1,8	1,3	0,3	Avión
	1,3	-2,3	1,3	0,3	Jetfoil
	1,1	1,3	-5,0	0,4	Ferry rápido
	-0,6	0,9	1,1	-2,0	Ferry lento

Siguiendo la Tabla 5.21 basada en el modelo MNL-1 M se observa lo siguiente: como se había anticipado en el estudio de las elasticidades, el atributo más importante es la tarifa. Así, un aumento del 10% en la tarifa del avión desplomaría su demanda en un 20%, desviando estos pasajeros, en su mayor parte, al jetfoil. Por

su parte, este modo perdería un 5,9% de su mercado ante un aumento de la tarifa del 10%, individuos que acabarían parte en el avión, parte en el ferry rápido. Sin embargo, es el ferry rápido el que experimentaría un mayor descenso ante un aumento de su tarifa, perdiendo hasta un 30% de sus usuarios que engrosarían los demandantes del avión y el jetfoil y, marginalmente, el ferry lento. Esto puede explicarse porque en el ferry rápido confluyen dos circunstancias: forma parte del mercado de precio-preferentes y, al mismo tiempo, es el más caro de los dos modos precio-preferentes. El descenso de la demanda del ferry lento, dentro de esta serie, sería el menor de todos, si bien aún considerable, con un descenso del 14% que, en su mayor parte, irían a parar al ferry rápido.⁴⁵

Respecto del tiempo de viaje, los cambios parecen menos intensos –al menos en el modelo MNL-1 M- y afectan especialmente al jetfoil. Esto es razonable si tenemos en cuenta que este modo forma parte de los modos tiempo-preferentes y su tiempo de viaje, sin embargo, es el segundo más grande tras el ferry lento. En efecto, el jetfoil experimentaría un descenso del 10,4% de sus pasajeros ante un aumento del 10% de su tiempo de viaje dirigiéndose la mayor parte de ese mercado hacia el avión.

Considérese ahora la conveniencia de la sustitución del jetfoil por un nuevo ferry rápido: el tiempo de viaje aumentaría considerablemente pero se compensaría con una reducción de las tarifas casi hasta la mitad y por la conveniencia del acceso (hemos observado cómo el valor del tiempo de acceso supera al del tiempo de viaje en el ferry rápido, de modo que reducciones del acceso son más valoradas que aumentos del tiempo de viaje).

El segundo modo más afectado por incrementos en el tiempo de viaje es el ferry lento con una caída del 8% de su mercado que sería absorbida en su mayor parte por el jetfoil; ahora bien, obsérvese que se trata del modo más lento donde un incremento del tiempo de viaje en un 10% supone añadir 22 minutos al trayecto. El avión, por su parte, descendería su número de usuarios en un 4,9% que acabarían en el jetfoil principalmente. El ferry rápido parece ser el menos afectado por cambios en el tiempo de viaje y ello se debe, probablemente, a que en este modo, como contrapunto a su alta sensibilidad a los precios, convergen dos circunstancias: es el segundo modo más rápido de todos –de modo que un aumento del 10% sólo supone añadir siete minutos al viaje- y demás, se dirige a la parte precio-preferente del mercado.

De acuerdo a este modelo, el tiempo de espera tiene una influencia notable en la demanda, afectando especialmente al avión y, en segundo lugar, al ferry lento. Sin embargo, los aumentos de la espera en el jetfoil y el ferry rápido tienen un efecto menor. De nuevo el tiempo de acceso tiene su valor más destacado en el ferry rápido, que perdería casi un 5% de su demanda ante un aumento del 10% en el

⁴⁵ Estos resultados pudieran parecer sorprendentes pero coinciden en gran parte con los obtenidos por González (1993)

tiempo de acceso y egreso. El resto de los modos presentan variaciones similares y menores, lo que da idea de su mejor localización. En especial, el jetfoil es el que resultaría menos afectado por cambios en el acceso, dada su impecable localización de ciudad a ciudad. Esta ventaja se subraya en la Tabla 5.20 donde los modos jetfoil y ferry lento, que virtualmente parten y llegan al mismo punto (ciudad a ciudad) son los menos afectados por cambios en el acceso.

Finalmente, el aumento en la frecuencia en una expedición produciría un incremento parecido del 3% de todos los modos; debe considerarse, no obstante, que un aumento marginal de una salida cuando la base son 17 es mucho menos impactante que pasar de dos a tres como en el caso del ferry lento, lo que señala la importancia de la frecuencia para el avión, que parece uno de sus rasgos esenciales.

Contrastando la Tabla 5.22 basada en el modelo MNL-S, con la 5.21 que acabamos de comentar, se observan cambios importantes en la influencia del tiempo de viaje, mucho mayor en esta última y muy concentrados en torno al avión y el jetfoil. También aquí se destaca aún más la importancia del acceso para el modo ferry rápido y, en general, se repiten las mismas ideas señaladas anteriormente.

5.9 Conclusiones sobre la validación y análisis de sensibilidad

Del análisis de sensibilidad que hemos realizado en este capítulo se infiere que la variable estratégica más importante –esto es, la que provoca más alteraciones en la demanda– es el precio, seguido del tiempo de viaje. El mercado se divide entre los precio-preferentes (viajeros del ferry) y los tiempo-preferentes (viajeros del jetfoil y avión). Sin embargo, el modo más sensible al precio es el ferry rápido, lo que se explica por sus tarifas relativamente mayores dentro de este grupo.

El tiempo de viaje afecta especialmente al avión y el jetfoil dependiendo de qué modelo consideremos. En todo caso, los pasajeros que salen del avión recaban en su mayor parte en el jetfoil, como era de esperar, y viceversa. Por su parte los ferrys comparten la misma plataforma de viajeros, si bien el ferry rápido al ocupar una posición central en el sistema es capaz de competir con todos. Como reverso de su reacción a los precios, este modo es el menos sensible a los cambios en el tiempo de viaje lo que es el reflejo de su inclusión dentro de los modos precio-preferentes pero con un tiempo de viaje que es, de hecho, el segundo mejor tras el avión. Por último es interesante destacar la importancia del acceso dentro de este modo, siendo el más afectado por aumentos en el tiempo de viaje de acceso, lo que es un reflejo de su peor localización.

A la hora de estimar la demanda de un modo que sustituye al otro, lo mejor es aplicar los estimadores que se ajustan a ese tipo de modo (tiempo de viaje, tarifa y espera del ferry rápido) y utilizar la constante modal como variable a manipular para aproximarnos a la realidad. En nuestro caso, y por razones ya referidas, la constante más adecuada parece la del jetfoil. Por otro lado, optimizando las

predicciones a través de la constante se obtiene un valor entre el modo jetfoil y ferry rápido más próximo al primero, como se ha comentado.

Finalmente, se ha probado que es mejor ajustar las constantes modales de los modelos con arreglo al mercado justo antes del lanzamiento –utilizando la última información disponible en ese momento- del modo nuevo: resultará más acertada la predicción.

El modelo que mejor predice es, también, el que ofrece el mejor ajuste. Sin embargo, los modelos medidos ofrecen un resultado superior al de su especificación equivalente con percepciones.

En realidad, parece que lo mejor es utilizar un modelo MNL con variables SE, y ello por varias razones:

- a) Es más sencillo de estimar que un ML
- b) Su validación ha sido la mejor y en términos estadísticos parece el más robusto, siendo el valor de la función de verosimilitud el mayor de todos.
- c) Al sistematizar la heterogeneidad es posible estimar VST para clases muy específicas lo que permite particularizar el uso de este valor en función del proyecto que se esté ejecutando.
- d) En conclusión, en algunas circunstancias si los datos no son del tamaño y la calidad adecuada el MNL con variables SE parece una alternativa mejor que el ML.

6 Conclusiones y recomendaciones finales

En esta tesis se ha analizado el transporte interurbano de pasajeros entre dos islas aplicando modelos de elección discreta y calculando el valor subjetivo del tiempo de cada una de las partes del viaje. Los resultados han permitido contrastar el uso de valores percibidos en los tiempos de viaje, basados en las declaraciones de los individuos, frente a los medidos o ingenieriles resultado de la medición *ad hoc* del viaje. Además también se han comparado los diferentes tipos de modelación, en particular el MNL frente al ML. Como, por otro lado, el mercado objeto de análisis un modo fue sustituido por otro, los nuevos tiempos de viajes y tarifas permitieron validar los modelos con la realidad. De todo lo anterior surgen conclusiones que se exponen a continuación.

- *Heterogeneidad y el VST*

El paradigma del consumidor como sujeto perfectamente racional se ha puesto en cuestionamiento recientemente, ya que parece haber pruebas de que los individuos no siempre eligen de forma racional y de que sus preferencias no son estables. Este planteamiento sugiere la necesidad de encontrar formas flexibles de modelación que incorporen información más profunda acerca de sus actitudes y percepciones y que logren integrarlas en la estructura de los modelos.

Los planteamientos teóricos más recientes sobre el VST sugieren la existencia de diferentes tipos de VST con una estructura flexible capaz de generar la enorme variedad de valores encontrados en la práctica. La búsqueda de métodos que perfilen la heterogeneidad, que la analicen y sistematicen se apoya en la teoría. Por otro lado, los modelos teóricos se inclinan a refutar la equiparación entre el VST y el salario. La profundización en lo particular, el análisis del contexto y de la heterogeneidad invitan a revisar la información que se utiliza en los proyectos de evaluación pública.

La modelación efectuada en esta tesis demostró la utilidad de desdoblar la variable coste reflejando la sensibilidad de los distintos mercados (entre coste-preferentes, por un lado y tiempo-preferentes por otro). El coeficiente del tiempo de viaje refleja la mayor desutilidad en el avión y el jetfoil donde el movimiento está más restringido y las posibilidades de interacción son menores que en los ferrys.

El estudio de la heterogeneidad de los gustos se abordó mediante un análisis sistemático (MNL) y aleatorio (ML). En ambos casos, se detectó que la mayor parte de la variación se localizaba en las variables del tiempo de viaje, que se ven

afectadas por el ingreso, sexo, frecuencia, ir acompañado de adultos y motivo del viaje. El tiempo de espera, a su vez, se ve influido por el ingreso, sexo, ir acompañado de adultos, motivo del viaje y edad. En el caso del ML, al detectarse mayor variabilidad en las variables del tiempo, los coeficientes del coste se mantuvieron fijos, lo que resulta muy conveniente a la hora de derivar disposiciones al pago con estos modelos.

Los resultados de la tesis parecen refutar la equiparación entre el VST y el salario-hora. En su lugar emerge una amplia variedad de valores dependiendo del modo, individuo y circunstancias del viaje. Así, se encontraron VST en el caso del IVT de entre 5,8 hasta 33 €/hora, 12 a 14 € en la espera y alrededor de 18 €/hora en el tiempo de acceso

La mayoría de las evidencias disponibles en la literatura señalan que el VST de espera es superior al VST en el modo (IVT) en una relación que oscila entre dos y tres veces el primero sobre el segundo. Sin embargo, en nuestro caso se halló que el VST de espera es inferior al VST del modo, lo que podría explicarse por tratarse de una espera sin incertidumbre, que tiene lugar en un recinto con posibilidades de distracción, mientras que la mayoría de los estudios analizan el caso urbano, donde los viajeros esperan sin conocer la duración exacta de ese tiempo y sin las posibilidades de disfrute que ofrecen las estaciones aeroportuarias.

El hecho de que, además, los viajeros frecuentes proporcionen menores VST en el tiempo de espera, podría reflejar el efecto de la costumbre y de un mayor conocimiento del modo. Por último, el VST de la espera revela que parece resultar más agradable esperar dentro del aeropuerto o la estación del jetfoil que a la intemperie como sucede en los ferrys. En definitiva, todo esto explica el tiempo de espera como una combinación de factores propios del viajero y de las características del modo.

- *Valores percibidos versus medidos*

En los modelos se utilizaron, como se ha explicado, dos fuentes de datos. En primer lugar se cronometraron todos los trayectos realizados por cada uno de los individuos teniendo en cuenta, para los viajes en coche o bus, las condiciones del tráfico, así como el tipo de vía. Además se midió el tiempo de espera de los buses, y, finalmente, el trayecto en el modo principal. Para este último caso también se utilizaron las declaraciones de los viajeros sobre su percepción del tiempo de viaje; sin embargo, estas percepciones se modularon con el fin de aminorar los valores excesivos introduciendo un factor aleatorio proporcional a la desviación respecto de la media. Esto parece haber dado resultados aceptables ya que los modelos basados en percepciones son mejores, tanto en el valor de la función de verosimilitud, como en la significación de sus parámetros. Esta superioridad se observa en cualquier especificación ya sea ML o MNL.

El modelo que mejor predice es, también, el que ofrece el mejor ajuste y es, además, un modelo con datos percibidos. Por otro lado, el rango de los intervalos es claramente mayor en el caso de los VST provenientes de modelos con datos medidos, lo que sugiere que ese resultado es más preciso en los modelos procedentes de datos percibidos.

- *Validación del modelo: predicción de un modo nuevo*

Se ha utilizado también el modelo como instrumento de predicción de la demanda de un nuevo modo que reemplaza al jetfoil, introduciendo las nuevas variables de servicio, tiempos, frecuencias y tarifas en el modelo estimado. Dado que el nuevo modo se trataba de un ferry rápido, los coeficientes considerados para este modo fueron los del ferry rápido. Sin embargo, como el nuevo ferry rápido partía del mismo punto que el antiguo jetfoil y hacía el mismo recorrido (además de estar gestionado por la misma empresa), se introdujo la constante modal del jetfoil para este nuevo modo.

Los resultados prueban lo acertado de esta combinación, ya que el modelo ha sido capaz de reproducir la realidad con gran precisión. En una situación ideal, no obstante, y, optimizando las predicciones a través de la constante modal, se obtiene un valor para esta constante, entre la del modo jetfoil y el ferry rápido y más próxima a la del primero. Por otra parte, se ha probado que es mejor ajustar las constantes modales con arreglo al mercado justo antes del lanzamiento del modo nuevo, utilizando la última información disponible en ese momento para lograr predicciones más acertadas.

- *MNL versus ML*

Los modelos ML explican mejor los datos que su contraparte MNL, dado el valor de su verosimilitud. No obstante, en el ranking final de modelos –atendiendo al valor de la función de verosimilitud– los modelos MNL con variables SE superaron al ML.

Este resultado es bastante notable, ya que en la mayoría de las aplicaciones reportadas en la literatura (aún cuando son exclusivamente sobre modelos con datos de preferencias declaradas) el modelo ML superaba al MNL interactuando con variables SE. Esto puede deberse a que aquí se utilizaron datos de preferencias reveladas

Además se observaron otras ventajas del MNL con variables SE respecto del ML:

- Su validación ha resultado la mejor y en términos estadísticos parece el más robusto.
- En el cálculo del VST del IVT proporciona una clasificación lógica y más acorde con los análisis previos que el ML

- Al sistematizar la heterogeneidad, permite estimar VST para clases muy específicas, lo que facilita la particularización del uso de este valor en función del proyecto que se esté ejecutando.
- Por último, resulta obvio que la estimación de un MNL es más sencilla que un ML.

Por tanto, en algunas circunstancias, si los datos no son del tamaño y la calidad adecuada, el MNL con variables SE parece una alternativa mejor que el ML.

• *Recomendaciones finales*

Un problema de la modelación con preferencias reveladas consiste en la poca información que revelan los sujetos sobre los modos alternativos. Se conocen los atributos y circunstancias que rodean el viaje en el modo elegido, pero sobre los modos alternativos hay ciertas incógnitas difíciles de resolver. Así, por ejemplo, es posible conocer con precisión cuánto esperó el encuestado en el viaje que efectivamente realizó, pero no queda claro el tiempo de espera que debe atribuírsele en caso de haber viajado en los modos alternativos.

Como recomendación para otros estudios sería aconsejable, según los recursos de que dispongan, usar la media de las esperas experimentadas en la realidad y atribuírselas a los viajeros de los otros modos, si es posible particularizadas por tipo de viajero. Por otro lado, los resultados también sugieren la conveniencia de desdoblarse el acceso del egreso.

Resulta crucial para la calidad de los datos cuestionar a los pasajeros en una situación relajada, centrando las preguntas sobre experiencias que acaban de terminar. Las preguntas hipotéticas, sobre los otros modos o sobre viajes futuros, suponen un esfuerzo que conduce a reglas de simplificación y a abundantes sesgos.

Finalmente, parece aconsejable profundizar con más información sobre los encuestados con objeto de enriquecer los modelos ya que la incorporación de variables SE los mejoró notablemente.

7 Anexos

Se presentan en esta sección final los anexos referidos en el texto: en primer lugar se muestra uno de los cuestionarios utilizados, a continuación se explica el uso de la inversa de la frecuencia como medida aplicada en los tiempos de espera para los autobuses urbanos e interurbanos; finalmente se añaden una serie de tablas que completan la información ya expuesta relativa a los resultados del VST.

7.1 Encuesta en el jetfoil

Se utilizaron cuatro formatos de encuestas, una por cada modo. A continuación se muestra la correspondiente al jetfoil. En los otros modos la estructura es similar, cambiando sólo las preguntas relativas específicamente al modo.

La encuesta consta de un primera parte referida al viaje que el individuo está realizando, con preguntas detalladas que pretenden reconstruir todos los viajes realizados en el acceso (P12), situar de forma clara los orígenes y destino del viaje completo (P2 y P3) y especificar todas las circunstancias que rodean al viaje en sí (P4-P11). Posteriormente se introducen preguntas relativas a las percepciones del tiempo y coste.

En la segunda parte se realizan preguntas sobre los modos alternativos, cuestionando, en primer lugar sobre las razones de su rechazo (P18-P20) y, a continuación tratando de reproducir los hipotéticos viajes que los pasajeros hubiesen hecho para abordar las estaciones, aeropuertos o puertos correspondientes a esos modos.

El estudio del tiempo de espera se introduce en una pregunta dirigida el encuestador (después de la P15) donde éste apunta la hora de ese instante de modo tal que pueda inferirse el tiempo de espera de la forma explicada.

Finalmente, hay una serie de encuestas donde se recaba información socioeconómica: edad –a través del año de nacimiento-, sexo, composición del hogar, ocupación (que serviría de variable sombra del ingreso en caso de no haber respuesta para este) y, finalmente el ingreso mensual en términos netos de toda la unidad familiar.



CUESTIONARIO PARA JETFOIL
SÁBADO 21 DE JUNIO DE 2003

Universidad de Las Palmas de GC: Encuesta de transporte

P1 Por favor, dígame cuál es su situación:

- 1 Es mi viaje de ida a Tenerife y vuelvo hoy mismo
 2 Es mi viaje de ida y regreso otro día. No he comprado el billete todavía.
 3 Es mi viaje de vuelta.
 4 Es mi viaje de ida y regreso otro día con este mismo billete.

P2 ¿Dónde empezó el viaje? (en Gran Canaria)

Calle _____
 Municipio _____
 Barrio _____

P3 ¿Cuál es su destino final? (En Tenerife)

Calle _____
 Municipio _____
 Barrio _____

P4 ¿Con qué frecuencia suele viajar hacer este viaje?

- | | |
|---|--|
| 1 <input type="checkbox"/> A diario | 6 <input type="checkbox"/> Cada dos semanas |
| 2 <input type="checkbox"/> 5 veces por semana | 7 <input type="checkbox"/> Una vez al mes |
| 3 <input type="checkbox"/> 3-4 veces por semana | 8 <input type="checkbox"/> Menos de una vez al mes |
| 4 <input type="checkbox"/> 2 veces por semana | 9 <input type="checkbox"/> Dos o tres veces al año |
| 5 <input type="checkbox"/> Una vez a la semana | 10 <input type="checkbox"/> 1 vez al año |
| | 11 <input type="checkbox"/> Primera vez |

P5 ¿Cuál es el motivo del viaje?

- | | |
|---|--|
| 1 <input type="checkbox"/> Trabajo | → P5 ¿Pagó su empresa el viaje? 1 <input type="checkbox"/> Sí 2 <input type="checkbox"/> No |
| 2 <input type="checkbox"/> De compras | |
| 3 <input type="checkbox"/> Negocios | |
| 4 <input type="checkbox"/> Visitar amigos o familiares | |
| 5 <input type="checkbox"/> Estudios | |
| 6 <input type="checkbox"/> De Vacaciones (o de regreso de vacaciones) | |
| 7 <input type="checkbox"/> Visitar una atracción turística. Diga cuál | |
| 8 <input type="checkbox"/> Visitas médicos, hospital, etc (o procedente de) | → ¿Su billete está pagado? (por la seguridad social / la federación) |
| 9 <input type="checkbox"/> Deportes. Participar en una competición | |
| 10 <input type="checkbox"/> Otros | 1 <input type="checkbox"/> Sí 2 <input type="checkbox"/> No |

P7 ¿Viaja solo/a?

1 Sí2 No

En este caso, ¿Cuántas personas viajan con usted?

___ Otros adultos

___ Niños 5-16 años

___ Niños menores de 5

P8 ¿Cuánto pagó por su billete? (si es un grupo de personas **la suma total que han pagado**)Precio individual: Precio del grupo:

€

P9 ¿Es un billete ida y vuelta o sólo ida? Solo ida 1 Ida y vuelta 2

P10 ¿Qué coche tiene? (marca y modelo) _____

 No tengo coche (salta a la P12)P11 ¿gasolina o gasoil? 1 gasolina 2 gasoilP12 Ahora, por favor, considere **todos los trayectos y formas de transporte empleados para llegar hasta la estación del jetfoil y los que necesitará hasta llegar a su destino final. DESCRIBA EL VIAJE CON DETALLE DE PUERTA A PUERTA.**

¿Cómo llegó a la estación?

Trayecto 1: de origen hasta _____ ruta: _____

	Tiempo empleado		Coste aparcamiento/ bus / taxi / ...	
1 <input type="checkbox"/> Me llevó un amigo / familiar	horas	minutos		
2 <input type="checkbox"/> Coche particular	horas	minutos	€	ptas.
3 <input type="checkbox"/> coche alquiler	horas	minutos	€	ptas.
4 <input type="checkbox"/> Bus	horas	minutos	€	ptas.
5 <input type="checkbox"/> Taxi	horas	minutos	€	ptas.
6 <input type="checkbox"/> Caminando	horas	minutos		
7 <input type="checkbox"/> Otros	horas	minutos	€	ptas.

Trayecto 2: de _____ hasta _____ ruta: _____

	Tiempo empleado		Coste aparcamiento/ bus / taxi / ...	
1 <input type="checkbox"/> Me llevó un amigo / familiar	horas	minutos		
2 <input type="checkbox"/> Coche particular	horas	minutos	€	ptas.
3 <input type="checkbox"/> coche alquiler	horas	minutos	€	ptas.
4 <input type="checkbox"/> Bus	horas	minutos	€	ptas.
5 <input type="checkbox"/> Taxi	horas	minutos	€	ptas.
6 <input type="checkbox"/> Caminando	horas	minutos		
7 <input type="checkbox"/> Otros	horas	minutos	€	ptas.

Trayecto 3: de _____ hasta _____ ruta: _____

	Tiempo empleado		Coste aparcamiento/ bus / taxi / ...	
1 <input type="checkbox"/> Me llevó un amigo / familiar	horas	minutos		
2 <input type="checkbox"/> Coche particular	horas	minutos	€	ptas.
3 <input type="checkbox"/> coche alquiler	horas	minutos	€	ptas.
4 <input type="checkbox"/> Bus	horas	minutos	€	ptas.
5 <input type="checkbox"/> Taxi	horas	minutos	€	ptas.
6 <input type="checkbox"/> Caminando	horas	minutos		
7 <input type="checkbox"/> Otros	horas	minutos	€	ptas.

Trayecto 4: de	hasta	ruta:
1 <input type="checkbox"/> Me llevó un amigo / familiar	Tiempo empleado horas minutos	Coste aparcamiento/ bus / taxi /...
2 <input type="checkbox"/> Coche particular	horas minutos	€ ptas
3 <input type="checkbox"/> coche alquiler	horas minutos	€ ptas.
4 <input type="checkbox"/> Bus	horas minutos	€ ptas.
5 <input type="checkbox"/> Taxi	horas minutos	€ ptas.
6 <input type="checkbox"/> Caminando	horas minutos	
7 <input type="checkbox"/> Otros	horas minutos	€ ptas.

Trayecto 5: de	hasta	ruta:
1 <input type="checkbox"/> Me llevó un amigo / familiar	Tiempo empleado horas minutos	Coste aparcamiento/ bus / taxi /...
2 <input type="checkbox"/> Coche particular	horas minutos	€ ptas
3 <input type="checkbox"/> coche alquiler	horas minutos	€ ptas.
4 <input type="checkbox"/> Bus	horas minutos	€ ptas.
5 <input type="checkbox"/> Taxi	horas minutos	€ ptas.
6 <input type="checkbox"/> Caminando	horas minutos	
7 <input type="checkbox"/> Otros	horas minutos	€ ptas.

P13 ¿A qué hora salió **hacia** la estación?

horas minutos

P14 ¿Cuánto tiempo lleva esperando aquí?

horas minutos

P15 ¿A qué hora sale el jetfoil? (**si lo sabes no lo preguntes**)

horas minutos

¡Apunta la hora en este instante!

horas minutos

P16 Una vez en el puerto, ¿cómo piensa llegar a su **destino final**? Describa todos los trayectos por favor.

Trayecto 1: del puerto de SC (estación jetfoil) hasta	ruta:
1 <input type="checkbox"/> Me llevó un amigo / familiar	Tiempo empleado horas minutos
2 <input type="checkbox"/> Coche particular	horas minutos
3 <input type="checkbox"/> coche alquiler	horas minutos
4 <input type="checkbox"/> Bus	horas minutos
5 <input type="checkbox"/> Taxi	horas minutos
6 <input type="checkbox"/> Caminando	horas minutos
7 <input type="checkbox"/> Otros	horas minutos

P25 Una vez en el puerto de Santa Cruz ¿cómo llegaría a su destino final?

	Trayecto 1:	Trayecto 2	Trayecto 3	Trayecto 4
origen				
destino				
1 <input type="checkbox"/> Me llevaría un amigo / familiar	horas m	horas m	horas m	horas m
2 <input type="checkbox"/> Coche particular	horas m	horas m	horas m	horas m
3 <input type="checkbox"/> coche alquiler	horas m	horas m	horas m	horas m
4 <input type="checkbox"/> Bus	horas m	horas m	horas m	horas m
5 <input type="checkbox"/> Taxi	horas m	horas m	horas m	horas m
6 <input type="checkbox"/> Caminando	horas m	horas m	horas m	horas m
7 <input type="checkbox"/> Otros	horas m	horas m	horas m	horas m

Acerca de usted

Finalmente, nos gustaría saber algo acerca de usted

P26 Por favor, díganos su año de nacimiento: 19__

P27 ¿Es usted? 1 Hombre 2 Mujer

P28 ¿Cuántas personas componen su hogar?

- Adultos _____
- Niños entre 5-16 años _____
- Niños menores de 5 años _____

P29 Por favor, díganos su ocupación _____

P30- Por favor, señale el **ingreso mensual neto de su hogar** (suma de todos los ingresos que reciben durante al mes todos los miembros de la familia). Este dato lo necesitamos por razones puramente estadísticas. Recuerde que la encuesta es totalmente anónima.

(mostrar la tarjeta. Si rechaza leerlo por sí mismo, leerle el cuadro)

GRUPO	EUROS	PESETAS
1 <input type="checkbox"/>	Menos de 900	Menos de 150.000
2 <input type="checkbox"/>	Entre 900 y 1.200	entre 150.000 y 200.000
3 <input type="checkbox"/>	Entre 1.200 y 1.500	entre 200.000 y 250.000
4 <input type="checkbox"/>	Entre 1.500 y 1.800	entre 250.000 y 300.000
5 <input type="checkbox"/>	Entre 1.800 y 2.400	entre 300.000 y 400.000
6 <input type="checkbox"/>	Entre 2.400 y 3.000	entre 400.000 y 500.000
7 <input type="checkbox"/>	Entre 3.000 y 6.000	más de 500.000 y 1000.000
8 <input type="checkbox"/>	Más de 6.000	Más de 1000.0000

Muchas gracias por su participación

7.2 Estudio del tiempo de espera en las paradas de autobús

Lo que sigue es una demostración que explica porqué se ha utilizado como tiempo de espera la mitad del periodo entre intervalos.

Suponemos que los pasajeros del servicio de bus llegan a la parada de forma determinística a una tasa constante λ (pasajeros/minuto) y los autobuses pasan a un intervalo regular de h (minutos entre autobuses). Esta situación se representa en el gráfico 7.1 donde el eje de abscisas mide los intervalos de arribo de los autobuses y el eje de ordenadas la tasa de llegada de los pasajeros. Se supone, por otro lado que todos los pasajeros acumulados en el paradero en el intervalo h son recogidos por autobús recién llegado al final del intervalo h .

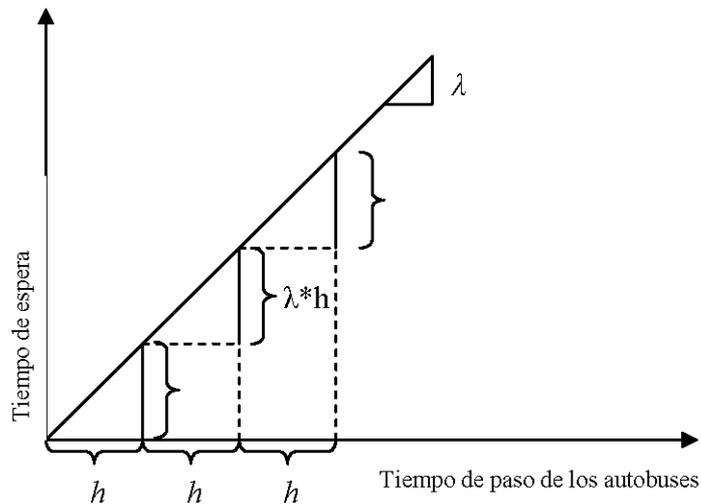


Figura 7.1: Tiempo de espera en la parada

Así se tiene que λh es la cantidad de pasajeros que transporta cada bus y dado que h es el tiempo máximo de espera, el tiempo total esperado será igual a

$$\frac{\lambda \cdot h \cdot h}{2}$$

Como λh es la cantidad de pasajeros, el tiempo medio de espera por pasajero si, como hemos supuesto llega de forma aleatoria a la parada, será igual a

$$\frac{\lambda \cdot h \cdot h / 2}{\lambda \cdot h} = \frac{h}{2}$$

Esto es, la mitad de la frecuencia, entendida como el tiempo de duración de un intervalo.

De forma similar también se puede demostrar fácilmente que si los intervalos no son de idéntica duración la esperanza del tiempo de espera es estrictamente mayor a la mitad del intervalo promedio (caso anterior). De hecho en ese segundo caso es igual a la esperanza del cuadrado del intervalo entre buses dividido por dos veces la esperanza del intervalo entre buses; matemáticamente:

$$\frac{E(h^2)}{2 \cdot E(h)}$$

Esta última expresión puede reescribirse como:

$$\frac{E(h)^2 + Var(h)}{2 \cdot E(h)}$$

lo que equivale a:

$$\frac{E(h)}{2} + \frac{Var(h)}{2 \cdot E(h)}$$

Esto demuestra que la esperanza del tiempo de espera no puede ser menor que la mitad del intervalo promedio entre buses (la varianza nunca es negativa y los intervalos tampoco).

7.3 Otras estimaciones del VST

Tabla 7.1: VST para viajes de ocio

	No va acompañado				Va acompañado			
	Ingreso bajo		Ingreso alto		Ingreso bajo		Ingreso alto	
Baja	27,32	27,81	42,68	43,41	20,28	20,66	28,47	28,98
Media	29,92	30,41	46,59	47,32	22,29	22,67	31,17	31,67
Alta	26,87	27,27	49,87	50,60	20,84	21,17	33,44	33,94

Tv del jetfoil								
	No va acompañado				Va acompañado			
	Ingreso bajo		Ingreso alto		Ingreso bajo		Ingreso alto	
Baja	17,27	17,76	27,62	28,35	12,55	12,92	18,07	18,57
Media	19,88	20,37	31,52	32,26	14,55	14,93	20,76	21,27
Alta	18,46	18,87	34,81	35,54	14,12	14,44	19,16	19,58

Tv ferry rápido								
	No va acompañado				Va acompañado			
	Ingreso bajo		Ingreso alto		Ingreso bajo		Ingreso alto	
Baja	1,95	2,19	3,02	3,31	1,27	1,48	2,07	2,31
Media	3,24	3,49	4,57	4,87	2,40	2,61	3,39	3,63
Alta	3,95	4,17	5,88	6,17	3,09	3,28	4,09	4,32

Tv ferry lento								
	No va acompañado				Va acompañado			
	Ingreso bajo		Ingreso alto		Ingreso bajo		Ingreso alto	
Baja	0,53	0,77	1,32	1,61	0,04	0,25	0,63	0,87
Media	1,83	2,07	2,88	3,17	1,17	1,38	1,95	2,19
Alta	2,66	2,88	4,18	4,48	1,95	2,15	2,78	3,00

Tabla 7.2: VST de los viajes al trabajo

Tv avión								
	No va acompañado				Va acompañado			
	Ingreso bajo		Ingreso alto		Ingreso bajo		Ingreso alto	
Baja	29,66	30,15	46,19	46,92	22,09	22,46	30,89	31,40
Media	32,26	32,75	50,09	50,82	24,09	24,47	33,59	34,10
Alta	28,82	29,23	53,38	54,11	22,41	22,73	35,86	36,37

Tv del jetfoil								
	No va acompañado				Va acompañado			
	Ingreso bajo		Ingreso alto		Ingreso bajo		Ingreso alto	
Baja	19,61	20,10	31,12	31,86	14,35	14,72	20,49	20,99
Media	22,22	22,70	35,03	35,76	16,35	16,73	23,19	23,69
Alta	20,42	20,83	38,32	39,05	15,68	16,01	21,17	21,59

Tv ferry rápido								
	No va acompañado				Va acompañado			
	Ingreso bajo		Ingreso alto		Ingreso bajo		Ingreso alto	
Baja	3,11	3,35	4,42	4,71	2,28	2,49	3,25	3,50
Media	4,41	4,65	5,97	6,26	3,41	3,62	4,57	4,82
Alta	5,01	5,23	7,28	7,57	4,02	4,22	5,17	5,39

Tv ferry lento								
	No va acompañado				Va acompañado			
	Ingreso bajo		Ingreso alto		Ingreso bajo		Ingreso alto	
Baja	1,69	1,94	2,72	3,01	1,05	1,26	1,81	2,06
Media	2,99	3,23	4,27	4,56	2,18	2,39	3,13	3,38
Alta	3,72	3,94	5,58	5,87	2,89	3,08	3,86	4,08

Tabla 7.3 : Tiempo de viaje de acceso y egreso

Viajes de ocio

	No va acompañado				Va acompañado			
	Ingreso bajo		Ingreso alto		Ingreso bajo		Ingreso alto	
Baja	6,41	7,44	29,77	33,24	2,66	3,29	7,30	8,41
Media	11,91	12,94	48,32	51,78	6,03	6,67	13,23	14,34
Alta	11,71	12,43	10,41	10,98	7,08	7,58	12,61	13,38

Viajes de trabajo

	No va acompañado				Va acompañado			
	Ingreso bajo		Ingreso alto		Ingreso bajo		Ingreso alto	
Baja	11,35	12,38	46,42	49,89	5,69	6,32	12,62	13,73
Media	16,85	17,88	64,96	68,43	9,06	9,70	18,56	19,67
Alta	15,20	15,93	33,70	35,15	9,50	10,00	16,30	17,06

Tabla 7.4: Tiempo de espera avión-jetfoil

No va al trabajo

	No va acompañado				Va acompañado			
	Ingreso bajo		Ingreso alto		Ingreso bajo		Ingreso alto	
Baja	10,19	2,24	19,13	11,19	5,39	-0,41	12,28	6,16
Media	10,19	2,24	19,13	11,19	3,04	-0,41	12,28	6,16
Alta	8,53	1,88	16,02	9,368	2,80	-0,38	10,68	5,359

Va al trabajo

	No va acompañado				Va acompañado			
	Ingreso bajo		Ingreso alto		Ingreso bajo		Ingreso alto	
Baja	23,88	7,94	32,82	24,88	15,93	5,53	22,82	16,70
Media	11,90	7,94	32,82	24,88	8,98	5,53	22,82	16,70
Alta	10,85	7,24	27,49	20,84	8,28	5,10	19,85	14,53

Tabla 7.5: Tiempo de espera ferrys

No va al trabajo

	No va acompañado				Va acompañado			
	Ingreso bajo		Ingreso alto		Ingreso bajo		Ingreso alto	
Baja	12,97	9,01	17,43	13,47	9,91	6,46	13,78	10,34
Media	12,97	9,01	17,43	13,47	9,91	6,46	13,78	10,34
Alta	11,83	8,21	15,89	12,28	9,14	5,96	12,71	9,53

Va al trabajo

	No va acompañado				Va acompañado			
	Ingreso bajo		Ingreso alto		Ingreso bajo		Ingreso alto	
Baja	19,79	15,83	24,25	20,29	15,84	12,40	19,72	16,28
Media	19,79	15,83	24,25	20,29	15,84	12,40	19,72	16,28
Alta	18,05	14,44	22,11	18,50	14,61	11,44	18,19	15,01

REFERENCIAS

- Adiv, A. (1983) "Commuter's versus analyst's perception of automobile travel cost". *Transportation Research Record* 890, 18-24.
- Adler H.A. (1987) *Economic Appraisal of Transport Projects*. World Bank. The Hopkins University Press. Baltimore and London.
- Ampt, E.S., J. Swanson y D. Pearmain (2000). "Stated preference. Too much deference?". En Juan de Dios Ortúzar Salas. (ed) *Stated Preference Modelling Techniques*, PTRC, Londres.
- Anderon, S.P., A. de Palma, J-F Thisse (1992), *Discrete Choice Theory of Product Differentiation*. The MIT press.
- Armstrong, P.M; Garrido, R.A. y Ortúzar, J. de D. (2001) "Confidence Intervals to Bound the Value of Time". *Transportation Research* 37E, 143-161.
- Arnold, B. y Brockett, P. (1992), "On the distribution whose components ratios are Cauchy". *The American Statistician* 46. pp. 25-26.
- Arrow, K. (1951)"A Difficulty in the Concept of Social Welfare" and can be found in *The Journal of Political Economy*, Volume 58, Issue 4, 328-346.
- Bates y Roberts (1986) "Value of time research: summary of methodology and findings". 14th PTRC Summer Annual Meeting. University of Sussex, UK; 14-18.
- Bath, C. (1998), "Accommodating Variations in Responsiveness to Level-of-Service Measures in travel Choice Modeling". *Transportation Research*, Vol. 32A, pp. 495-507.
- Becker, G. (1965) "A theory of the allocation of time". *The Economic Journal* 75, 493-517.
- Beesley, M.E., (1965), "The value of time spent in travelling: some new evidence" *Economica* 32, 174-185.
- Berkson, J. (1944). "Application of the logistic function of bioassay". *Journal of the American Statistical Association* 39:357-365.
- Berkson, J. (1951). "Why I prefer Logits to Probits". *Biometrics* 7, 327-339.
- Bernoulli, D. (1738) "Specimen Theoriae Novae de Mensura Sortis", *Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*. (trans. en 1954, *Econometrica*).

- Bliss, C. I. (1934). "The method of probits". *Science* 79, 38-39.
- Blumen O. (1994), "Gender differences in the journey to work". *Urban Geography* (16), 223-225.
- Boardman A. E. Et Al(2001) *Cost-Benefit Analysis: concepts and practise*. Prentice Hall.
- Bourdieu, P. (1963), "The attitude of the Algerian peasant towards time". En J. Pitt-Rivers (ed), *Mediterranean Countrymen*. Mouton & Co. París.
- Boyd J. y J. Mellman (1980). "The effect of fuel economy standards on the US automobile market: a hedonic demand analysis". *Transportation Research* 14A(5-6):367-378.
- Briggs, R. (1983) "Urban cognitive distance". En R.M. Downs y D. Shea (eds), *Image and Environment: Cognitive Mapping and Spatial Behavior*. Aldine Publishing Co. Chicago.
- Brock, W.A. (2001). Discrete Choice with Social Interactions. *The review of Economic Studies*. Vol. 68, N°2 (Abril 2001). Pp. 235-260.
- Bruzelius, Nils (1979), *The Value of Travel Time: Theory and Measurement*. London: Croom Helm.
- Burnett, P. (1976) "Time cognition and urban travel behaviour". *Geographical Perspectives on the American City Conference*. Philadelphia.
- C.R. Bhat (1998). "Accommodating variations in responsiveness to level-of-service measures in travel mode choice". *Transportation Research A*, Vol. 32, No. 7, 495-507.
- Cantillo, V.; Ortuzar, J.d (2006), "A semi-compensatory discrete choice model with explicit attribute thresholds of perception" • *Transportation Research Part B: Methodological*, Volume 39, Issue 7, 1 August 2005, p. 641-657.
- Cardell N. y F. Dunbar (1980). "Measuring the societal impacts of automobile downsizing". *Transportation Research* 14A (5-6): 423-434.
- Carrasco, J.A. y Ortúzar, J. de D. (2002). Review and assessment of the nested logit model. *Transport Reviews* 22, 197-218.
- Chamberlain, G. (1980) Analysis of covariance with qualitative data. *Review of Economic Studies* 47, 225-238.

- Cherchi E., Ortúzar J. de D. (2002) Mixed RP/SP models incorporating interaction effects: Modelling new suburban train services in Cagliari. *Transportation*, 29, 4, 371-395.
- Clark J.E. (1983) "Modelling traveler's perception of travel time". *Transportation Research Record* 890, 7-11.
- Cox, D. (1966). "Some procedures connected with the logistic qualitative response curve". In *Research Papers in Statistics: Festschrift for J.Neyman*, F. David ed (Wiley, London), 55-71.
- Crosby, A. W. *La medida de la realidad: La cuantificación y la sociedad occidental 1250-1600*. Barcelona, Crítica, 1998.
- Daganzo, C. (1979), *Multinomial Probit: The Theory and its Application to demand Forecasting*. Academic Press, New York.
- Daly, A.J. y Zazhary, S. (1978), Improve multiple choice models. In D.A. Hensher and M. Q. Dalvi (eds). *Determinants of Travel Choice*. Saxon House. Westmead.
- David Brownstone, D. y Train, K. (1998), "Forecasting new product penetration with flexible substitution patterns" *Journal of Econometrics*, Volume 89, Issues 1-2, 26 November 1998, 109-129.
- De Serpa, A. (1971) "A theory of the economics of time". *Economic Journal*, 81: 828-846.
- De Serpa, A. (1973), "Microeconomic theory and the valuation of travel time: some clarifications". *Regional Urban Economics*, 2, 401-410.
- Debreu, G. (1959), *Theory of Value*. Cowles Foundation Monograph 17.
- Dillen, J.L. y S. Algers (1999), "Further research on the national Swedish value of time study" En: H. Meersman, E. Van de Voorde and W. Winkelmanns, (Ed), *Proceedings of the Eighth World Conference on Transport Research, Transport Modelling/Assessment*, 3, Pergamon Press, Amsterdam. 135-148.
- DRAE (1992). *Diccionario de la Lengua Española*. Real Academia Española. Vigésimo primera edición. Espasa Calpe. Madrid.
- Ettema, D.; Gunn, H.; De Jong, G. y Lindveld, K. (1997), "A Simulation Method for Determining the Confidence Interval of a Weighted Group Average Value of Time". En: *Proceedings of the 25th European Transport Forum*. Brunel University, England.

- Evans, A. (1972): "On the Theory of Valuation and Allocation of Time". *Scottish Journal of Political Economy*, 1-17.
- Fernández, J. (1992): "El valor subjetivo del tiempo: antecedentes y marco teórico para una investigación empírica". *Documento de trabajo n° 63*. Universidad Católica de Chile.
- Gaddum, J. H. (1933). "Reports on Biological Standard III. Methods of Biological Assay Depending on a Quantal Response (Medical Research Council, London)". *Special Report Series of the Medical Research Council*, n° 183.
- 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), 151-8.
- González, R. M. (1997), "The value of time: a theoretical review". *Transport reviews*; 17.(3), 245-266.
- González, R.M. (1993) "La demanda de transporte en el trayecto Tenerife- Gran Canaria". Tesis de doctorado. Universidad de La Laguna.
- González, R.M. y Ortúzar, J.de D. (2002), "Inter.-Island Travel Demand Response with Dsicrete Choice Models". *Journal of Transport Econocs and Policy*, 36, 139-162.
- Gourieroux, C. (2000), *Econometrics of Qualitative Dependent Variables*. Cambridge University Press.
- Greene W.H. y David A. Hensher (2003), "A latent class model for discrete choice analysis: contrast with mixed logit". *Transportation Research Part B*. 681-698.
- Gronau, Reuben (1974), "The Effect of Children on the Housewife's Value of Time". En *Economics of the Family: Marriage, Children an Human Capital*. Editor: Theodore W. Schulz. Chicago University Press.
- Gunn H.F., J.G. Tuinenga, Y.H.F. Cheung and H.J. Kleijn (1999) "Value of Dutch Travel Time Savings" En: H. Meersman, E. Van de Voorde and W. Winkelmanns, (ed), *Proceedings of the Eighth World Conference on Transport Research, Transport Modelling/Assessment* vol. 3, Pergamon, Amsterdam. 513-526.
- Gurland, J., I.Lee y P.Dolan (1960). "Polychotomous response in biological assay". *Boimetrics* 16, 382-398.
- Hague Consulting Group (1990). "The Netherlands Value of Time Study: Final Report". La Haya.
- Harrison (1974) *The Economics of Transport Appraisal*. Halsted Press Book. Nueva York.

- Hausman, J. y D. Wise (1978), "A conditional Probit Model for Qualitative Choice: Discrete Decisions Recognizing Interdependence and Heterogeneous Preferences". *Econometría*, Vol. 46, nº 2, 403-426.
- Hensher, D. (2005), "The signs of the Times: Imposing a Globally Signed Condition on Willingness to Pay Distributions".
- Hensher, D.A. and W.H. Greene (2003), "Mixed logit models: state of practice", *Transportation* 30 (2), 133-176.
- Hess, S.; M. Bierlaire, J.W. Polack (2005), "Estimation of value travel-time saving using Mixed Logit Models".
- Hjorthol, R. (2001), "Gendered aspects of time related to everyday journeys". *Acta Sociologica* 44, 36-49.
- Huber, J y K. Train (2001), "On the Similarity of Classical and Bayesian Estimates of Individual Mean Partworths". *Marketing Letters* 12:3, 259-269.
- Hunt, J.D. (1992), "Valuing in-vehicle travel time in Barcelona", *Internacional Journal of Transport Economics*, 19, 85-103.
- Hutt, G. (1983), Tesis de grado. Departamento de Ingeniería de Transporte. Pontificia Universidad Católica Chile. Santiago.
- Jara Díaz S.(2001) "A closer look at the value of leisure travel time savings". Proceeding AET. [<http://www.aetransport.co.uk/etc/2001/brochure/abstracts/behavioralmodelling.doc>]
- Jara-Díaz S.R. (1998). "Time and income in travel choice: towards a microeconomic activity-based theoretical framework". En T. Garling, T. Laitilia y K. Westin (eds): *Theoretical Travel Choice Modelling*. Elsevier Science. New York.
- Jara-Díaz, S. (1990): "Valor subjetivo del tiempo y utilidad marginal del ingreso en modelos de partición modal." *Apuntes de Ingeniería*, núm.39, Santiago de Chile, Universidad de Chile, 41-50.
- Jara-Díaz, S. (2000) "Allocation and valuation of travel-time savings". *Handbook of Transport Modelling*. David A. Hensher and Kenneth J. Button (Eds). Pergamon.
- Jara-Díaz, S. y Guevara, C.A. (2003) "Venid the Subjective Value of Travel Time Savings". *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol 37, parte 1. Enero 2003, 29-46.

Jara-Díaz, S. y M. Farah. (1986): "Transporte y gasto familiar en sectores de bajos ingresos en Santiago". *Actas del IV Congreso Panamericano de Ingeniería del Transporte*.

Jara-Díaz, S. y M. Farah. (1987): "Transport demand and user's benefits with fixed income: the goods/leisure trade off revisited". *Transportation Research*, 21B (2), 165-170.

Jara-Díaz, S. y Ortúzar, J de D. (1986): "Valor subjetivo del tiempo y rol del ingreso en la especificación de la demanda por transporte". *Apuntes de Ingeniería*, 24. Santiago de Chile, Universidad de Chile.

Jara-Díaz, S. y Ortúzar, J de D. (1987): "Valor subjetivo del tiempo considerando el efecto ingreso en la partición modal". *Actas del V Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte*. Santiago de Chile.

Jevons, W. S. (1905), *The principles of economics*. Augustus M . Kelley. New York.

Johnson (1966) "Travel Time and the price of leisure". *Western Economic Journal*, 135-145.

Johnson, M. (1966). "Travel time and the price of leisure". *Western Economic Journal* 4, 135-145.

Kahneman, D (1994). "New Challenges to the Rationality Assumption". *Journal of Institutional and Theoretical Economics*. Vol. 150, p. 18.

Kahneman, D. (1997) "New challenges to the rationality assumption". *Legal Theory* 3, 105-115.

Koppelman, F.S y V. Sethi, (2000) "Closed form discrete choice models". En D.A. Hensher y K.J. Button, (Ed), *Handbook of Transport Modeling*, Pergamon Press, Oxford (2000), 211-228.

Lancaster, K. (1966): "A New Approach to Consumer Theory." *Journal of Political Economy*, Vol. 74, 132-157.

Leadbetter, M.R., Lindgreen, G. and Rootzén, H. (1983). *Extremes and related properties of random sequences and processes*, Springer-Verlag.

Learman y Manski (1981): "On the Use of Simulated Frequencies to Approximate Choice Probabilities". En C. Manski y D Mc Fadden (aditores): *Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications*. MIT Press, Cambridge, MA.

- Lotan T. y Koutsopoulos, H.N. (1993). "Models for route behaviour in presence of information using concepts from fuzzy set theory and approximate reasoning." *Transportation* 20, 129-156.
- Louviere, J. (1988), *Analyzing decision making*. Sage University Paper. University of Alberta.
- Louviere, J.J., D.A. Hensher, J.D. Swait (2000), *Stated Choice Methods: Analysis and Application*. Cambridge University Press.
- Luce, R. D. (1959), *Individual Choice Behaviour: A theoretical Analysis*. New York. Wiley.
- Luce, R. y Suppes, P. (1965), Preference, Utility and Subjective Probability. En R. Luce, R. Bush y E. Galanter (editories), *Handbook of Mathematical Psychology*, Vol. 3. Wiley, New York.
- Mackie, P y Jara-Díaz, S. (2001) "The value of travel time saving in evaluation". *Transportation Research Part E* 37; 91-106.
- Mackie, P. y Simon, D. (1986), "Do Road Project Benefit Industry?. A Case Study of the Humber Bridge." *Journal of Transport Economic and Policy*, 20 (3); 377-384
- Maddala, G.S. (1983), *Limited-Dependent and Qualitative Variables in Econometrics*. Cambridge University Press.
- Maddala, G.S. (2001). *Introduction to Econometrics*. Third edition. Wiley. New York.
- Manski (1977). The structure of random utility models. *Theory and decision*, 8. 229-254.
- Manski, C. (2001), "Daniel McFadden and the Econometric Analysis of Discrete Choice". *Scandinavian Journal of Economics* 103(2), 217-229, 2001.
- Manski, C.F. (1981). "Structural Models for Discrete Data: the Analysis of Discrete Choice". *Sociological Methodology*, Vol.12, 58-109.
- Matas A. (1991) "La demanda de transporte urbano: un análisis de las elasticidades y valoraciones del tiempo". *Investigaciones Económicas*, 15, 249-267.
- Mayberry, J.P. (1973), Structural requirements for abstract-mode models of passenger transportation. In R.E. Quandt (eds.), *The Demand for Travel: Theory and Measurement*. D.C. Heath and Co. Lexington, Mass.

- Mc Fadden, D. (1973), "Conditional Logit Analysis of qualitative choice behaviour". Ch 4. P. Zarembka (editor). *Frontiers of Econometrics*. New York. Academic Press.
- Mc Fadden, D. (1978), "Modelling the Choice of Residential Location". En A. Kerlvist, L. Lundqvist, F. Snickars, y J. Weibull (ed), *Spatial Interaction Theory and Planning Models*. Amnsterdam: North- Holland, 75-96.
- Mc Fadden, D. (1978b). "Modeling the choice of residential location". *Transportation Research Record* 673:72-77.
- Mc Fadden, D. y K. Train (2000), "Mixed MNL models for discrete response". *Journal of Applied Econometrics*. 15: 447-470.
- McFadden, (1968), "The Reveal Preferences of Government Bureaucracy". *Bell Journal of Economics and Management Sciencies* 7: 55.
- MVA Consultancy, ITS University of Leeds, TSU University of Oxford (1987), "Value of Travel Time Savings", *Policy Journals, Newbury, Berks*.
- Oort (1969) "The evaluation of travelling time", *Journal of Transport Economics and Policy* 3: 279-286.
- Ortúzar J.D y Willumgsen L. (2001), *Modelling Transport*. Wiley. London.
- Ortúzar, J. de D. (1997). *Modelos de demanda de transporte*. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Ortúzar, J. de D. (2000a), "Modelling route and multinomial choices with revealed and stated preference data". En Juan de Dios Ortúzar Salas. (ed) *Stated Preference Modelling Techniques*, PTRC, Londres.
- Ortúzar, J. de D. (2000b) *Modelos econométricos de elección discreta*. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Ortúzar, J. de D. y Willians, H.C.W.L. (1982). "Una interpretación geométrica de los modelos de elección entre alternativas discretas basados en la teoría de la utilidad aleatoria". *Apuntes de Ingeniería* 7, 25-50.
- Palacio, J.I. (2003), "Distribución funcional y personal de la renta". En *Lecciones de Economía Española*. En José Luis García Delgado (ed). Thompson-Cívitas. Madrid.
- Piaget, J. y Melyan-Backs, M. (1965), "Comparaciones y operaciones temporales en relación con la velocidad y la frecuencia". En *La epistemología del tiempo*. Comp. Por J. Piaget y otros. El Ateneo, 1971.

- Pindyck, R.S. y Rubinfeld, D. (1976). *Modelos Económicos*. Mac Graw Hill. Madrid.
- Pollack, R. y M. Watcher (1975): "The Relevance of Household Production Function and its implications for the Allocation of Time". *Journal of Political Economy*. Vol. 83, nº2, pp. 255-277.
- Pursula, M., Kurri, J., (1996). "Value of Time Research in Finland". *PTRC International Conference on the Value of Time*.
- Quant, R. y Baumol, W. (1966). "The demand for abstract travel modes: Theory and measurement". *Journal of Regional Science* 6: 13-26.
- Quarmby, D.A., (1967). "Choice of travel mode for the journey to work". *Journal of Transport Economics and Policy* 1, pp. 273-314.
- Rabin, M. (1998). "Psychology and Economics". *Journal of Economic Literature*. Vol 36, nº1. 11-46.
- Revelt and Train (1999) "Customer-Specific Taste Parameters and Mixed Logit". Working paper, Department of Economics, University of California, Berkeley. [<http://citeseer.ist.psu.edu/revelt00customerspecific.html>].
- Revelt y Train (1998). "Mixed Logit with Repeated Choices: Households' Choices of Appliance Efficiency Level". *The Review of Economics Statistics*, Vol. LXXX, nº 4, 647-657.
- Rizzi, L.I. y Ortúzar, J. de D. (2003) Stated preference in the valuation of interurban road safety. *Accident Analysis and Prevention* 35(1), 9-22.
- Sillano, M. y Ortúzar, J. de D. (2005) Willingness-to-pay estimation with mixed logit models: some new evidence. *Environment and Planning* 37A(3), 525-550.
- Simon, H. (1990), "Invariants of human behaviour". *Annual Review of Psychology*. 41, 1-20.
- Small K.A. (1987), "A Discrete Choice Model for Ordered Alternatives". *Econometrica* 55. 409-424.
- Spear, B.D. (1977), "Applications of new travel demand forecasting techniques to transportation: a study of individual choice models". *Final report to the Office of Highway Planning, Federal Highway Administration, US Department of Transportation, Washington D.C.*

Steimetz S.S.C. y D. Brownstone (2005), "Estimating commuters' value of time with noisy data: a multiple approach". *Transportation Research Part B*. Vol 36. 865-889.

Stern, S. (1997), "Simulation-Based Estimation". *Journal of Economic Literature*. Vol XXV (diciembre), 2006-2039.

Stevens, S.S. (1957), "On the psychophysical law". *Psychological Review*, 64, 153-181.

Stigler, G.J. y G.S. Becker (1977). "De Gustibus Non Est Disputandum". *American Economic Review* 67:76-90.

Teghtsoonian, R. (1971), "On the exponents in Steven's Law and the constant in Eckman's Law". *Psychological Reviews*, 78, 71-80.

Terence C. Lam, T.C. y K. A. Small (2001), "The value of time and reliability: measurement from a value pricing experiment" *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol 37, 231-251.

Theil (1977) *Principles of Econometrics*, Wiley, New York.

Theil, H. (1969). "A multinomial extension of the linear logit model". *International Economic Review* 10. 251-259.

Thurstone, L.L. (1927) "A Law of Comparative Judgement". Reimpreso en *Psychological Review* (1994) N° 101 (2), 266-270.

Train, K. (1986), *Qualitative Choice Analysis: Theory, Econometrics and an Application to Automobile Demand*. The MIT Press.

Train, K. (2003), *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge University Press.

Train, K. y D. Mc Fadden (1978) "The goods/leisure tradeoff and disaggregate work trip mode choice models". *Transportation Research*, 12: 49-353.

Train, K. y Sonnier, G. (2003) "Mixed Logit with Bounded Distributions of Partworth". En *Applications of Simulation Methods in Environmental Resource Economics*, (pp. 117-134) A. Alberini y R. Scarpa, eds., Springer Publisher: Dordrecht, The Netherlands, 2005.

Tversky, A. (1972), "Elimination by aspects: a theory of choice". *Psychological Review* 79. 281-299.

- Tversky, A. y Kahneman (1981). "The Framing of Decisions and the Psychology of Choice". *Science* 211, 453-458.
- Vythoukias, P.C. y Koutsopoulos, H.N. (2003). "Modelling discrete choice behaviour using concepts from fuzzy set theory, approximate reasoning and neural networks". *Transportation Research Part C* 11. 51-73.
- Walras, L. (1954), *Elements of pure economics*. Homewood. Richard D. Irwin, Inc.
- Wardman (2004), "Public transport values of time". *Transport Policy* 11. 363-377.
- Wardman, M. (1998), "The value of travel time: a review of British evidence". *Journal of Transport Economics and Policy* 32 (3), 285-316.
- Wardman, M. (2001), "A review of British evidence on time and service quality valuations". *Transportation Research Part E* 37 (2001) 107-128.
- Warner, S. L. (1962) "Strategic Choice for Model" En *Urban Travel: a Study of Binary Choice*. Evanston, IL: Northwestern University Press.
- Waters W.G.(1996) "Values of Travel Time Saving in Road Transport Project Evaluation". En David Hensher, J. King y Hoon Oum, (eds.) *World Transport Research; proceedings of the 11th World Conference on Transport Research*. 3.
- Willians, H.C.W.L. (1977). "On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit". *Environmentatl and Planning* 9A(3). 285-344.
- Yellott J.I. (1977), "The relationship between Luce's Choice Axiom, Thurstone's Theory of Comparative Judgement and the Double Exponential Distribution". *Journal of Mathematical Psychology* 5: 109-144.