

Estudio comparativo de los factores relacionados con la elección modal en redes de transporte con sistemas de capacidad intermedia: influencia de la imagen percibida de los modos ferroviarios frente al autobús de alto nivel de servicio

Autor: Javier Anta Álvarez

Tesis de doctorado UDC / 2016

Director: Alfonso Orro Arcay

Directora: Margarita Novales Ordax

Programa de Doctorado en Ingeniería Civil



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

A mis abuelos y abuelas: Juan, Luciana, Xico y Engracia

Agradecimientos

Lo primero es sin duda agradecer a mis directores todo el apoyo que me han brindado, especialmente en la última etapa de esta tesis que ha estado marcada por la distancia geográfica entre nosotros. En primer lugar a Alfonso Orro, que me introduce en campo de la modelización de la demanda, por sus consejos, aclaraciones ante mis numerosas dudas, dedicación y disponibilidad. También por sus palabras de ánimo y reconocimiento, sobre cuando los resultados obtenidos no eran los deseados, ya que han sido de vital importancia para mantenerme centrado. En segundo lugar quisiera dar gracias a Margarita Novales, por la que todo momento me he sentido arropado. Su incorporación como co-directora de esta tesis ha sido el mayor de los aciertos, ya que su dedicación y esfuerzos por ponerme a mí y a mis dudas en perspectiva han dado lugar a un documento que no sería el mismo sin su excelente visión analítica. Gracias por sus palabras de aliento y por sus valiosas críticas.

También quisiera expresar mis agradecimientos a los financiadores del proyecto de investigación NASCI (“comparación tecnológica, económica y de captación de usuarios de los Nuevos Avances en Sistemas de transporte metropolitano de Capacidad Intermedia”), en el que está enmarcada esta tesis. Gracias al Ministerio de Economía y Competitividad por su confianza y financiación dentro del Plan Nacional de I+D+i 2008-2011, junto con las aportaciones de la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Por supuesto, quiero dar las gracias a todos los participantes que generosamente han colaborado en este estudio. A los estudiantes universitarios que han decidido cubrir desinteresadamente los cuestionarios en los que se basa la investigación, pero sobre todo a los profesores que cedieron tiempo en sus clases y que en muchos casos fueron los propios encargados de llevar a cabo las encuestas. Muchas gracias: a Pilar Fernández, María del Mar Lledó, María del Rosario Resano y Alejandro Rodríguez de Vitoria-Gasteiz; a Bruno Auvity e Isabelle Derrendinger de Nantes; a Sebastien Grondel, Veronique Sanguinetti y Joseph Hanna de Valenciennes; a Fabrice Audonnet, Yamina Andre, Bruno Auvity, Anne Guerin, Christophe Vial y Pierre Breul de Clermont-Ferrand; a Elodie Casteaux y Jean-François Bodart de Lille; a Tania Gomez, Begoña Rumbo, María del Carmen Rodríguez, José Ron, María Rovira, Gonzalo Barrio, José Benito Pérez, Xosé Manuel Martínez, Antonio Sarmiento, Julio Brégains, Raquel Taboada, Luis Novoa, Juan Villar, Jerónimo Puertas, Celia Muñoz, Manuel García, Carmen Lamela y Pablo Vellando de

A Coruña. Especial mención merecen las profesoras Nuria Calvo y Esther Barros, de la Facultad de Economía y Empresa de la Universidade da Coruña, ya que desde el comienzo se mostraron muy interesadas en colaborar con la investigación, mediando con compañeros que pudieran estar interesados en colaborar con la misma y participando en las 2 campañas de encuestas llevadas a cabo la ciudad de A Coruña.

Además, quisiera también dedicar palabras de gratitud a mis compañeros del grupo de ferrocarriles y transportes FERROTRANS, de la Universidade da Coruña, ya que han facilitado enormemente el desarrollo de esta tesis. Gracias por estar siempre abiertos a debatir cualquier tema, aportando ideas y soluciones ante las dudas planteadas.

Tampoco quiero olvidar a todas aquellas personas que a lo largo de estos años han sido de grandes apoyos para mí en lo personal: a todos mis amigos de O Barco, en especial a Deborah, Josín y Piti, por estar siempre ahí cuando se les necesita, dispuestos a tener una de esas charlas “modo desconexión de tesis”, a pesar de la distancia. También a todos los amigos de A Coruña, en especial a Javi, Miguelón y Pablito, por compartir aficiones, emociones y experiencias vitales inolvidables, siempre dispuestos a escuchar, aconsejar o lo que fuese necesario.

Por supuesto estoy muy agradecido a toda mi familia, a los que están y a los que desgraciadamente ya no están. Especial mención sin ningún tipo de dudas merecen mis padres, ya que sin sus consejos y muestras de cariño no sería la persona que hoy soy. Gracias por sus cuidados, su amor, y por darme una educación (y formación) de la que me siento muy orgulloso. También quiero dar gracias a mi hermano, que ha sido y es todo lo que se supone que debe ser un hermano mayor. Sus consejos siempre han sido de gran importancia para mí en el personal y en lo profesional. Además, ser tío es uno de los mejores regalos que alguien me ha hecho jamás.

Por último, pero desde luego no menos importante, gracias a Tania. Por ser coherente cuando yo soy incoherente, por sus palabras de aliento, por sus críticas siempre constructivas, y por estar ahí incluso antes de que lo necesite. Agradecerle además el haberme introducido en la que ya considero que también es mi familia, que se ha preocupado por mi bienestar desde el primer día, con la que he compartido esas largas sesiones de domingo que se pasan extrañamente rápido, y durante las cuales tengo el privilegio de pasar el rato con unos sobrinos fantásticos. Pero sobre todo lo estoy muy agradecido por el proyecto de vida que compartimos desde hace casi una década, ya que es sin duda la etapa vital en la que he sido más feliz.

Resumen

En esta tesis se analiza si existe una preferencia inherente hacia los modos ferroviarios frente a un autobús equivalente, en el ámbito de los sistemas de capacidad intermedia (SCI). Este fenómeno es conocido con el nombre de *rail factor*. Se opta por una metodología de estudio basada en la estimación de modelos de demanda de varias tipologías. Posteriormente se realizan simulaciones de distintas políticas destinadas a favorecer el uso del transporte público, con las que se analizan los cambios en el comportamiento de los usuarios ante cambios en las variables influyentes en la elección. También se simula un escenario en el que partiendo de una situación en la que existe un sistema de autobús convencional, se plantea la hipotética implantación de un SCI que puede ser de 2 tipos: autobús de alto nivel de servicio o metro ligero. Para concluir, se analiza la variación del reparto modal entre la alternativa coche y cada uno de los SCI.

Resumo

Nesta tese analízase se existe unha preferencia inherente polos modos ferroviarios fronte a un autobús equivalente, no ámbito dos sistemas de capacidade intermedia (SCI). Este fenómeno é coñecido co nome de *rail factor*. Óptase por unha metodoloxía de estudo baseada na estimación de modelos de demanda de varias tipoloxías. Posteriormente realízanse simulacións de distintas políticas que favorecen o emprego do transporte público, coas que se analizan os cambios no comportamento dos usuarios ante cambios nas variables que inflúen na elección. Tamén se simula un escenario no que partindo dunha situación na que existe un sistema de autobús convencional, estúdase a hipotética implantación dun SCI que pode ser de 2 tipos: autobús de alto nivel de servizo ou metro lixeiro. Para concluír, analízase a variación do reparto modal entre a alternativa coche e cada un dos SCI.

Abstract

This PhD thesis studies whether an inherent users' preference for rail-based modes over bus-based equivalent modes exists, in the field of medium-capacity transit systems (MCTS). This phenomenon is usually called *rail factor*. The methodology of this study is based on the estimation of several types of transport demand models. Afterwards, several policies that promote public transport use are simulated in order to analyse how user's behaviour changes with the changes in the most influential variables. Moreover, and starting from a scenario in which only a conventional bus exists, a hypothetic implementation of a MCTS which can be of 2 types is simulated: bus with high level of service or light rail transit. Lastly, the variation of modal distribution between car and each MCTS is analysed.

Prefacio

La posible existencia de una preferencia inherente hacia los modos ferroviarios frente a sistemas basados en el autobús es un tema que ha generado opiniones enfrentadas, y sobre el que se han planteado algunas incógnitas. Esta preferencia adquiere especial interés en el ámbito de los sistemas de transporte metropolitano de capacidad intermedia (SCI), que son aquellos que se emplean cuando es necesario satisfacer una demanda de transporte que no puede ser asumida por sistemas de baja capacidad (como por ejemplo el autobús convencional o el tranvía), y además esta demanda no es tan elevada como para justificar la implantación de sistemas de alta capacidad (como por ejemplo el metro o el ferrocarril de cercanías). Como ejemplos más habituales destacan el metro ligero (*Light Rail Transit*, LRT) y el autobús de alto nivel de servicio (*Bus with High Level of Service*, BHLS).

El mayor desarrollo del LRT en el contexto europeo durante las últimas décadas del siglo XX se debe, en cierta medida, a que ha sido considerado como una opción más atractiva para los viajeros que los sistemas basados en el autobús, y por lo tanto con una mayor capacidad e captación de viajeros. En algunos casos se ha justificado con este argumento la implantación de un sistema que necesita una mayor inversión inicial, sin obtenerse los resultados de ocupación esperados. Por lo tanto, cabe plantearse las siguientes preguntas: ¿realmente los sistemas de transporte ferroviarios atraen a más usuarios potenciales que otros tipos de sistemas de transporte público?, y en caso afirmativo, ¿cuáles son los factores que dan lugar a esta mayor atracción?

El objetivo principal de la presente tesis consiste precisamente en analizar si existe una preferencia inherente hacia los sistemas de transporte público ferroviario frente a los sistemas de transporte público basados en el autobús, fenómeno que habitualmente se ha denominado como *rail factor*. El ámbito de estudio de la misma se limita a los SCI, centrándose el análisis en el LRT y en el BHLS. También se analiza la contribución a este fenómeno de variables relacionadas con la imagen del transporte público que es percibida por los usuarios.

Tras realizar una revisión detallada de la bibliografía relacionada con el *rail factor*, se opta por emplear una metodología basada en la estimación de modelos de demanda de transporte, el análisis de los resultados obtenidos y la posterior simulación del

reparto modal en diferentes escenarios. Se selecciona como población objeto de estudio a los estudiantes universitarios por los siguientes motivos: se trata de una población homogénea con un importante porcentaje de individuos que emplean el transporte público en sus desplazamientos habituales; en general no se observa ningún hábito adquirido en los desplazamientos debido a restricciones o condicionantes en los mismos (desplazarse con otras personas a su cargo, por ejemplo); se trata de una etapa vital en la que se comienza a elegir de forma autónoma, en la que se prueban diferentes alternativas de transporte público y se desarrolla una imagen de las mismas, y en la que el coche (como conductor o como acompañante) puede estar disponible de forma ocasional; finalmente, es un colectivo que se compone por un amplio abanico de usuarios que poseen diferentes grados de conocimiento de la red de transporte, desde los recién llegados a la ciudad hasta usuarios más experimentados en el uso de la misma. En cuanto a las localizaciones objeto de estudio, se consideran ciudades de tamaño intermedio de ámbito nacional (A Coruña y Vitoria-Gasteiz) e internacional (ciudades francesas como ejemplo de la implantación exitosa de SCI: Nantes, Valenciennes, Clermont-Ferrand y Lille).

A la hora de determinar los atributos influyentes en la elección de modo se tienen en cuenta tanto las experiencias previas publicadas como los resultados obtenidos en la realización de un grupo focal o de discusión. Sobre este grupo se realiza una encuesta de elección no etiquetada recopilando datos de índole socioeconómica, datos de preferencias reveladas (PR) y datos de preferencias declaradas (PD), y también se discuten los principales motivos por los que los encuestados realizan sus elecciones. Posteriormente se re-diseña la sección relativa a la recopilación de datos PD mediante un diseño experimental ortogonal, presentando a cada encuestado situaciones hipotéticas de elección que incluyen los modos de transporte público objeto de estudio, además del coche. Tras la validación del cuestionario en un nuevo grupo reducido, se obtienen casi 1 500 observaciones PD mediante una encuesta piloto en la Universidade da Coruña.

Con los datos obtenidos mediante esta encuesta piloto se estiman diferentes modelos de reparto, cuyos resultados sirven como base para abordar el proceso completo de generación de un diseño experimental eficiente. Este diseño permite aprovechar al máximo la información obtenida a través de las encuestas y disminuir el error estándar cometido en la estimación. En cuanto al ejercicio de elección PD planteado, se opta por un enfoque que permite captar mayor cantidad de información y que además posibilita el estudio de la influencia en la elección del atributo "tipo de transporte

público”, directamente relacionado con la forma en que los usuarios perciben la imagen asociada al transporte público. Esto se consigue con la inclusión en el diseño experimental de 2 experimentos (1 y 2) distintos y 2 escenarios (A y B) por situación de elección, cuyas características se presentan resumidas tras este prefacio.

Para finalizar con la recopilación de datos, los resultados obtenidos en la encuesta de A Coruña (UDC fase 1) permiten realizar un re-ajuste en los valores previos de los parámetros empleados en el diseño experimental eficiente, y se completa la base de datos de la investigación con una segunda muestra de la ciudad de A Coruña (UDC fase 2). El objetivo de esta actuación es valorar la influencia de la etiqueta mostrada a los usuarios en la elección de modo ferroviario (tranvía frente a metro ligero).

Posteriormente se realiza un análisis comparativo del comportamiento de los usuarios, estimando modelos de elección discreta basados en los datos PD obtenidos. Mediante un procedimiento sistemático, se buscan las especificaciones de la utilidad que maximizan la capacidad explicativa de los modelos sobre las diferentes muestras. Se realizan estimaciones de modelos logit multinomial (MNL), logit anidado (NL) y logit mixto (ML). Estos últimos modelos ML suponen aproximadamente un 60% de las estimaciones realizadas debido a que resultan ser los más adecuados por el tipo de experimento PD empleado en la investigación (múltiples elecciones por encuestado).

A continuación, se analizan los resultados de las especificaciones seleccionadas como las de referencia, y se calculan las diferentes probabilidades de elección de las alternativas de transporte público en igualdad de condiciones en cuanto a las prestaciones ofrecidas. Esto permite llegar a la conclusión de que no existe un *rail factor* de forma “universal”, y aunque es cierto que existe una preferencia hacia ciertos modos de transporte público en las ciudades estudiadas, esta depende fuertemente del contexto. La magnitud de esta preferencia, así como el hecho de que esta sea favorable a los sistemas ferroviarios o a los basados en el autobús, está fuertemente influida por la imagen que proyecta el transporte público.

Finalmente se plantean escenarios teóricos y realistas sobre una población simulada, partiendo de un contexto hipotético en el que existe un sistema de autobús convencional para posteriormente considerar la posibilidad de implantar o bien un BHLS o bien un LRT. Los escenarios teóricos suponen igualdad de prestaciones para ambos modos mientras que en los escenarios realistas se persigue adaptar la explotación prevista a sus características específicas. Los resultados obtenidos no

muestran una ventaja clara de un sistema frente a otro en lo que a captación de usuarios se refiere.

Descripción de experimentos y escenarios

En la presente investigación se emplean datos de encuestas realizadas a los distintos usuarios de la red de transporte para estimar el reparto modal mediante modelos de elección discreta. En estas encuestas se incluye un ejercicio de elección con datos de preferencias declaradas (PD), planteando alternativas de transporte hipotéticas que están disponibles para realizar un desplazamiento tipo.

Se realizan 2 experimentos distintos que se diferencian en las variables influyentes consideradas en cada uno de ellos. Además, se muestran 2 escenarios por cada situación de elección en los que se consideran conjuntos de alternativas disponibles diferentes, con el objetivo de captar la mayor cantidad de información posible.

Alternativas disponibles y variables influyentes

Las alternativas implicadas en el ejercicio de elección son el coche, un sistema de transporte basado en el autobús y un sistema de transporte ferroviario. A continuación se muestran las variables influyentes y los niveles de variación de las mismas en la encuesta final. Entre paréntesis se indican los valores mostrados a los encuestados. Nótese que existen diferentes valores para la variable coste, ya que este valor es diferente en función de la localización (Vitoria-Gasteiz/A Coruña/ciudades francesas).

Variable	Coche	Transporte público
Tiempo (sin considerar retrasos)	0.75*T _{car} (14 min) 0.8*T _{car} (18 min) 1.5*T _{car} (27 min)	0.66*T (15 min) T (23 min) 1.33*T (31 min)
Coste	0*C _{car} (0/0) 3*C _{car} (1.2/1.2/1.65€) 6*C _{car} (2.4/2.4/3.30€)	0.66*C _{pt} (0.55/0.75/0.95€) C _{pt} (1/1.1/1.4€) 1.33*C _{pt} (1.45/1.45/1.85€)
Intervalo entre vehículos	- (-) - (-) - (-)	Muy Bajo (4 min) Bajo (8 min) Medio (12 min)
Nº de transbordos	- (-) - (-) - (-)	Sin transbordos (0) 1 transbordo (1) 2 transbordos (2)
Tipo de transporte público	- (-) - (-) - (-)	Categoría C (C) Categoría B (B) Categoría A (A)

Tabla 1. Variables influyentes y niveles de variación en la encuesta final

Experimentos

- EXPERIMENTO 1: se considera que todas las variables incluidas en la tabla anterior influyen en la elección realizada por el encuestado (es decir, el tiempo de viaje, el coste, el intervalo entre vehículos, el número de transbordos y el tipo de transporte público). Este es el caso más general, mientras que el siguiente experimento se trata de un caso restringido.
- EXPERIMENTO 2: la única diferencia respecto al anterior es que no se muestra a los encuestados la variable tipo de transporte público, y por lo tanto, estos no la tienen en cuenta en sus elecciones.

Escenarios de elección

- ESCENARIO A: solamente están disponibles para el desplazamiento las 2 alternativas de transporte público, es decir, un sistema de transporte basado en el autobús y un sistema de transporte ferroviario.
- ESCENARIO B: además de los modos de transporte del escenario A, se incluye el vehículo privado como disponible para realizar el desplazamiento.

Para finalizar, en la siguiente figura puede verse un ejemplo de situación de elección tal y como es mostrada a los encuestados de la ciudad de Vitoria-Gasteiz. Se presenta en ambos cuadros la misma situación de elección para los experimentos 1 y 2, respectivamente.

Situación 5			
	COCHE	BUS	TRANVÍA
Tiempo total (min)**	27 (+6)	15 (+2)	23 (+9)
Coste (€)	1.20	0.55	1.00
Intervalo entre vehículos (min)	-	4	12
Trasbordos (nº)	-	2	1
Tipo de Transporte*	-	B	C
Escenario A	-	<input type="checkbox"/> Elijo esta	<input type="checkbox"/> Elijo esta
Escenario B	<input type="checkbox"/> Elijo esta	<input type="checkbox"/> Elijo esta	<input type="checkbox"/> Elijo esta

(a)

Situación 5			
	COCHE	BUS	TRANVÍA
Tiempo total (min)*	27 (+6)	15 (+2)	23 (+9)
Coste (€)	1.20	0.55	1.00
Intervalo entre vehículos (min)	-	4	12
Trasbordos (nº)	-	2	1
Escenario A	-	<input type="checkbox"/> Elijo esta	<input type="checkbox"/> Elijo esta
Escenario B	<input type="checkbox"/> Elijo esta	<input type="checkbox"/> Elijo esta	<input type="checkbox"/> Elijo esta

(b)

Fig. 1. Situación de elección en Vitoria-Gasteiz: (a) Experimento 1 / (b) Experimento 2

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	1
RESUMEN/RESUMO/ABSTRACT	3
PREFACIO	5
DESCRIPCIÓN DE EXPERIMENTOS Y ESCENARIOS	9
ÍNDICE.....	11
ÍNDICE DE TABLAS.....	17
ÍNDICE DE FIGURAS.....	25
ABREVIACIONES	27
NOMENCLATURA.....	29

CAPÍTULO 1

Introducción

1.1. Motivación.....	31
1.2. Objetivo de la investigación	32
1.3. Preguntas de investigación.....	32
1.4. Estructura de la tesis.....	33
1.5. Aportaciones	35

CAPÍTULO 2

Metodologías para el análisis de la preferencia inherente hacia los modos ferroviarios (rail factor)

2.1. Introducción.....	39
2.2. Rail factor: definición adoptada.....	41
2.3. Sistemas de transporte ferroviarios: metro ligero frente a tranvía	42
2.4. Sistemas de transporte basados en el autobús: autobús de alto nivel de servicio frente a autobús convencional	45
2.5. Enfoques empleados para evaluar la captación de viajeros.....	50
2.5.1. Estudios antes-después	51
2.5.2. Estudios basados en la modelización de la demanda.....	52
2.5.3. Estudios basados en la psicología humana como condicionante de la percepción de los usuarios.....	55
2.6. Resumen de conclusiones de la literatura	60
2.7. Metodología empleada en la investigación.....	64

CAPÍTULO 3

Diseños experimentales para la recopilación de datos

3.1. <i>Introducción</i>	67
3.2. <i>Preferencias de los usuarios: tipos de datos</i>	71
3.2.1. Datos de preferencias reveladas (PR)	71
3.2.2. Datos de preferencias declaradas (PD)	73
3.3. <i>Introducción a los modelos de elección discreta</i>	77
3.3.1. Modelizando elecciones de los encuestados	77
3.3.2. Maximización de la utilidad aleatoria.....	79
3.3.3. Principales modelos basados en la RUM.....	81
3.4. <i>Consideraciones iniciales en el proceso de generación de experimentos basados en datos PD</i>	82
3.4.1. Definición del problema estudiado	84
3.4.2. Refinamiento de estímulos	84
3.4.3. Consideraciones comunes a los distintos diseños experimentales.....	86
3.5. <i>Identificación de variables influyentes</i>	89
3.5.1. Grupo focal	89
3.5.2. Variables consideradas en el ejercicio de elección	93
3.6. <i>Características del ejercicio de elección PD</i>	95
3.7. <i>Diseño experimental ortogonal: encuesta piloto</i>	96
3.7.1. Introducción	96
3.7.2. Metodología para el desarrollo de diseños ortogonales.....	98
3.7.3. Generación del diseño ortogonal para la encuesta piloto	100
3.7.4. Generación y presentación aleatoria de situaciones de elección.....	106
3.7.5. Construcción de la encuesta	109
3.7.6. Resultados obtenidos mediante la encuesta piloto	117
3.8. <i>Diseño experimental eficiente: encuesta final</i>	119
3.8.1. Introducción	119
3.8.2. Metodología para el desarrollo de diseños eficientes	120
3.8.3. Generación del diseño eficiente	128
3.8.4. Generación y presentación aleatoria de situaciones de elección.....	133
3.8.5. Construcción de la encuesta final.....	136
3.8.6. Resumen de la muestra obtenida con la encuesta final.....	137
3.9. <i>Influencia de la etiqueta empleada en el modo ferroviario: encuesta complementaria</i>	138
3.9.1. Introducción	138

3.9.2. Obtención de valores previos de los parámetros para el diseño experimental eficiente complementario.....	141
3.9.3. Generación del diseño experimental eficiente para la encuesta complementaria	147
3.9.4. Generación y presentación aleatoria de situaciones de elección.....	153
3.9.5. Construcción de la encuesta	154
3.9.6. Resumen de la muestra obtenida mediante la encuesta complementaria	154
3.10. Resumen de conclusiones relativas al diseño experimental para la recopilación de datos	155

CAPÍTULO 4

Desarrollo de las encuestas

4.1. Introducción.....	157
4.2. Población objetivo: Los estudiantes universitarios.....	158
4.3. Localizaciones o ciudades seleccionadas	159
4.3.1. Ciudades españolas.....	163
4.3.2. Ciudades francesas.....	169
4.4. Proceso de recolección de datos.....	176
4.4.1. Estrategia de recolección de datos	176
4.4.2. Encuestas de cada localización: diferencias	179
4.4.3. Teoría de muestras en el proceso de recolección de datos.....	182
4.4.4. Recolección de datos en la práctica.....	185
4.4.5. Trabajo de campo.....	187
4.5. Muestras obtenidas.....	191
4.5.1. Tratamiento de datos.....	191
4.5.2. Características socioeconómicas de los encuestados	193
4.5.3. Experiencia previa con la red de transporte público PR.....	197
4.5.4. Elección de modo para viaje actual PR.....	198
4.6. Conclusiones.....	200

CAPÍTULO 5

Estimación de modelos de reparto modal

5.1. Introducción.....	203
5.2. Modelos de elección discreta.....	204
5.2.1. Marco teórico.....	204
5.2.2. El modelo logit multinomial (MNL).....	207

5.2.3. El modelo logit anidado o jerárquico (NL)	209
5.2.4. El modelo logit mixto (ML)	216
5.2.5. Identificación en modelos de elección discreta	221
5.3. <i>Procedimiento de búsqueda de modelos: especificaciones de utilidad de las alternativas</i>	225
5.3.1. Consideraciones previas	227
5.3.2. Especificación de modelos logit multinomial	231
5.3.3. Especificación de modelos logit anidado.....	242
5.3.4. Especificación de modelos logit mixto.....	243
5.4. <i>Resultados del procedimiento de estimación</i>	249
5.4.1. Test estadísticos considerados	249
5.4.2. Resultados obtenidos en el caso de Nantes	252
5.4.3. Resumen de resultados por localización.....	292
5.5. <i>Casos de estudio particulares</i>	310
5.5.1. Influencia de la etiqueta mostrada en el modo ferroviario en el caso de A Coruña.....	310
5.5.2. Coexistencia de SCI con modo de transporte con plataforma independiente (VAL de Lille)	315
5.5.3. Influencia del contexto de estudio: Nantes frente a Vitoria-Gasteiz	330
5.6. <i>Conclusiones</i>	356
5.6.1. Constantes específicas de las alternativas	356
5.6.2. Probabilidad de elección en igualdad de condiciones.....	358
5.6.3. Tipo de transporte público	359
5.6.4. Variables de la encuesta PR	361
5.6.5. Casos particulares.....	365

CAPÍTULO 6

Análisis del reparto modal obtenido

6.1. <i>Introducción</i>	367
6.2. <i>Modelos considerados en el reparto modal</i>	368
6.3. <i>Enumeración muestral</i>	369
6.3.1. First Preference Recovery, Chance Recovery & Expected Recovery.....	369
6.3.2. Resultados obtenidos con 3 alternativas disponibles	371
6.3.3. Resultados obtenidos con 2 alternativas disponibles.....	372
6.4. <i>Probabilidad de elección para un individuo tipo</i>	374
6.4.1. Probabilidad de elección con 3 alternativas disponibles	375

6.4.2. Probabilidad de elección con 2 alternativas disponibles	378
6.4.3. Elasticidad de la demanda	380
6.4.4. Variación relativa de la demanda: análisis de políticas	382
6.5. <i>Simulación de atributos en la población</i>	384
6.5.1. Simulación mediante el enfoque teórico.....	386
6.5.2. Simulación mediante el enfoque corredor	392
6.6. <i>Conclusiones</i>	398
CAPÍTULO 7	
Conclusiones y líneas de investigación futura	
7.1. <i>Conclusiones</i>	401
7.2. <i>Respondiendo a las preguntas de investigación</i>	406
7.3. <i>Líneas de investigación futura</i>	409
BIBLIOGRAFÍA.....	413
ANEXOS (CD-ROM adjunto)	
ANEXO A1: Cuestionario en el grupo focal	423
ANEXO A2: Prueba previa a encuesta piloto.....	425
ANEXO A3: Generación de la encuesta piloto.....	433
ANEXO A4: Resultados obtenidos con la encuesta piloto.....	437
ANEXO A5: Estimación de modelos MNL con datos de la encuesta piloto	443
ANEXO A6: Error en el balance de los niveles de atributo para cada bloque – Encuesta final	451
ANEXO A7: Generación de la encuesta final.....	457
ANEXO A8: Estimación de modelos MNL para valores previos de parámetros en el diseño complementario	471
ANEXO A9: Procedimiento de generación de diseño eficiente basado en modelos MNL para encuesta complementaria	485
ANEXO A10: Generación de la encuesta complementaria	493
ANEXO A11: Tarifas de transporte público en las ciudades estudiadas	499
ANEXO A12: Obtención del tamaño mínimo de muestra probabilística en A Coruña	503
ANEXO A13: Recuento de las situaciones de elección PD válidas.....	507
ANEXO A14: Características socioeconómicas de los encuestados	511
ANEXO A15: Especificación de la utilidad de las alternativas en los modelos estimados	517
ANEXO A16: Modelos estimados para el caso de Nantes	597
ANEXO A17: Modelos estimados para el caso de Valenciennes.....	661

ANEXO A18: Modelos estimados para el caso de Clermont-Ferrand.....	725
ANEXO A19: Modelos estimados para el caso de Lille	789
ANEXO A20: Modelos estimados para el caso de A Coruña 1	853
ANEXO A21: Modelos estimados para el caso de Vitoria-Gasteiz.....	917
ANEXO A22: Modelos estimados para el caso de A Coruña 2	981
ANEXO A23: Modelos estimados para el caso de Lille teniendo en cuenta el VAL.....	1045
ANEXO A24: Modelos estimados para el caso de Ciudades francesas.....	1069
ANEXO A25: Modelos estimados para el caso de Ciudades francesas excepto Lille	1133
ANEXO A26: Tamaño de la población en los procesos de simulación del reparto modal	1197

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Características técnicas y operativas de tranvía y metro ligero	43
Tabla 2.2. Denominación de los diferentes sistemas de transporte público analizados	50
Tabla 2.3. Ejemplo de atributos racionales y emocionales para evaluar el <i>rail factor</i>	59
Tabla 2.4. Resumen de conclusiones en la literatura consultada.....	63
Tabla 3.1. Número mínimo de grados de libertad para la captación de efectos principales en la generación de diseños experimentales.....	89
Tabla 3.2. Distribución de integrantes del grupo focal en función de distintas características ..	90
Tabla 3.3. Motivos de la elección en el ejercicio no etiquetado realizado por el grupo focal	92
Tabla 3.4. Atributos y niveles de atributo considerados en el diseño experimental ortogonal para la encuesta piloto	102
Tabla 3.5. Matriz de correlación de los atributos del diseño experimental piloto	105
Tabla 3.6. Valores de los niveles de atributos presentados en la encuesta piloto	107
Tabla 3.7. Presentación del atributo tipo de transporte público en la encuesta piloto.....	107
Tabla 3.8. Orden de presentación de las situaciones de elección en función del bloque y de la versión considerada: Encuesta piloto	109
Tabla 3.9. Valores de los parámetros asociados al modelo MNL de referencia obtenido a partir de la encuesta piloto	119
Tabla 3.10. Atributos y niveles de atributo considerados en el diseño experimental eficiente para la encuesta final	129
Tabla 3.11. Características de eficiencia del diseño experimental inicial con valores fijos para los parámetros.....	130
Tabla 3.12. Métodos de simulación bayesiana para el diseño experimental eficiente	131
Tabla 3.13. Resultados de la generación en el diseño experimental eficiente	132
Tabla 3.14. Variaciones ocasionales en el tiempo de viaje debidas a la congestión (coche) y al tipo de transporte (transporte público)	134
Tabla 3.15. Valores de los niveles de atributos presentados en la encuesta final	135
Tabla 3.16. Orden de presentación de las situaciones de elección en función del bloque y de la versión de la encuesta considerada: Encuesta final	136
Tabla 3.17. Número de cuestionarios en cada localización mediante la encuesta final.....	138
Tabla 3.18. Distribución por centro de estudios de los cuestionarios realizados en A Coruña mediante la encuesta final.....	141
Tabla 3.19. Observaciones válidas obtenidas en A Coruña mediante la encuesta final	142
Tabla 3.20. Valores de los parámetros, errores estándar y significación estadística para los parámetros de los modelos MNL: experimento 1	143
Tabla 3.21. Valores de los parámetros, errores estándar y significación estadística para los parámetros de los modelos MNL: experimento 2	144

Tabla 3.22. Valores de los parámetros, errores estándar, test-t y significación estadística para los modelos ML: experimentos 1 y 2.....	147
Tabla 3.23. Comparación de los diseños eficientes basados en valores de modelos MNL para encuesta complementaria	148
Tabla 3.24. Valores del error de eficiencia y del error en el balance de los niveles de atributo para los 10 diseños basados en ML (EC) Gen y que presentan mayor eficiencia	150
Tabla 3.25. Valores del error de eficiencia y del error en el balance de los niveles de atributo para los diseños eficientes basados en MNL Gen y ML (EC) Gen.....	152
Tabla 3.26. Evaluación de los diseños eficientes pre-seleccionados para la encuesta complementaria	152
Tabla 4.1. Resumen de características de la ciudad de A Coruña.....	167
Tabla 4.2. Resumen de características de la ciudad de Vitoria-Gasteiz	169
Tabla 4.3. Resumen de características de la ciudad de Nantes.....	171
Tabla 4.4. Resumen de características de la ciudad de Lille.....	173
Tabla 4.5. Resumen de características de la ciudad de Valenciennes	175
Tabla 4.6. Resumen de características de la ciudad de Clermont-Ferrand	176
Tabla 4.7. Datos de población y PIB de España y Francia en 2012.....	180
Tabla 4.8. Coste de desplazamiento en transporte público en la ciudad de Vitoria-Gasteiz ...	181
Tabla 4.9. Coste de un desplazamiento en transporte público en ciudades francesas empleando billetes sencillos.....	181
Tabla 4.10. Número de encuestas obtenidas mediante la encuesta final: Campus de Elviña (A Coruña).....	188
Tabla 4.11. Número de encuestas obtenidas mediante la encuesta complementaria: Campus de Elviña (A Coruña)	188
Tabla 4.12. Número de encuestas obtenidas mediante la encuesta final: ciudades francesas	189
Tabla 4.13. Número de encuestas obtenidas mediante la encuesta final: Vitoria-Gasteiz.....	190
Tabla 4.14. Porcentaje de situaciones de elección aprovechables en función de las problemáticas analizadas.....	193
Tabla 4.15. Número de observaciones que forman las diferentes bases de datos.....	193
Tabla 4.16. Edad media de los encuestados	194
Tabla 4.17. Porcentaje de encuestados según su sexo	195
Tabla 4.18. Porcentaje total de encuestados según su nivel de gasto neto mensual	196
Tabla 4.19. Número y porcentaje de encuestados según su experiencia previa con la red de transporte público.....	197
Tabla 4.20. Número y porcentaje de encuestados según la elección de modo para el desplazamiento PR	199
Tabla 5.1. Especificaciones de modelos MNL en función del experimento y escenario considerados	241
Tabla 5.2. Modelos MNL a partir de la especificación base: Exp. 2 / Esc. A, Nantes	256
Tabla 5.3. Modelos MNL por pares a partir de la especificación de referencia: Exp. 2 / Esc. A, Nantes	257
Tabla 5.4. Modelos MNL con variables de sección PR de encuesta: Exp. 2 / Esc. A, Nantes	258

Tabla 5.5. Probabilidad de elección de las alternativas de transporte público suponiendo igualdad de condiciones: Exp. 2 / Esc. A, Nantes.....	260
Tabla 5.6. Selección de modelos ML(RC): Exp. 2 / Esc. A, Nantes	261
Tabla 5.7 Modelos MNL a partir de la especificación base: Exp. 1 / Esc. A, Nantes	263
Tabla 5.8. Modelos MNL con tipo de transporte público específico a partir de la especificación de referencia: Exp. 1 / Esc. A, Nantes	265
Tabla 5.9. Modelos MNL con variables de sección PR de encuesta: Exp. 1 / Esc. A, Nantes	266
Tabla 5.10. Probabilidad de elección de las alternativas de transporte público suponiendo igualdad de condiciones: Exp. 1 / Esc. A, Nantes.....	267
Tabla 5.11.a Selección de modelos ML(RC), parte 1: Exp. 2 / Esc. B, Nantes.....	267
Tabla 5.11.b Selección de modelos ML(RC), parte 2: Exp. 2 / Esc. B, Nantes.....	269
Tabla 5.12. Modelos MNL por pares a partir de la especificación de referencia: Exp. 2 / Esc. B, Nantes	270
Tabla 5.13. Modelos MNL con variables de la sección PR de la encuesta: Exp. 2 / Esc. B, Nantes	271
Tabla 5.14. Comparación de modelos MNL y NL de referencia: Exp. 2 / Esc. B, Nantes.....	273
Tabla 5.15. Modelos NL con variables de sección PR de encuesta: Exp. 2 / Esc. B, Nantes .	274
Tabla 5.16. Comparación de modelos MNL y ML(EC) de referencia: Exp. 2 / Esc. B, Nantes	276
Tabla 5.17. Selección de modelos ML(RC): Exp. 2 / Esc. B, Nantes	278
Tabla 5.18. Modelos ML(RC) con variación aleatoria en ASC: Exp. 2 / Esc. B, Nantes	279
Tabla 5.19. Modelos ML-ASC2(RC) con variables de la sección PR de la encuesta: Exp. 2 / Esc. B, Nantes.....	280
Tabla 5.20. Selección de modelos MNL a partir de la especificación base: Exp. 1 / Esc. B, Nantes	282
Tabla 5.21. Modelos MNL con variables de la sección PR de la encuesta: Exp. 1 / Esc. B, Nantes	283
Tabla 5.22. Selección de modelos NL a partir de la especificación base: Exp. 1 / Esc. B, Nantes	284
Tabla 5.23. Comparación de modelos MNL y NL de referencia: Exp. 1 / Esc. B, Nantes.....	285
Tabla 5.24. Selección de modelos ML(EC) a partir de la especificación base: Exp. 1 / Esc. B, Nantes	286
Tabla 5.25. Comparación de modelos MNL y ML(EC) de referencia: Exp. 1 / Esc. B, Nantes	287
Tabla 5.26. Selección de modelos ML(RC): Exp. 1 / Esc. B, Nantes	288
Tabla 5.27. Modelos ML(RC) con variación aleatoria en ASC: Exp. 1 / Esc. B, Nantes	289
Tabla 5.28. Modelos MNL de referencia para diferentes localizaciones: Exp. 2 / Esc. A.....	293
Tabla 5.29. Modelos MNL considerando la elección de modo PR para diferentes localizaciones: Exp. 2 / Esc. A.....	294
Tabla 5.30. Modelos ML10-tpt(RC) para diferentes localizaciones: Exp. 2 / Esc. A	295
Tabla 5.31. Modelos MNL de referencia para diferentes localizaciones: Exp. 1 / Esc. A.....	296
Tabla 5.32. Modelos MNL con “categoría A” del tipo de transporte público como específica para diferentes localizaciones: Exp. 1 / Esc. A	297

Tabla 5.33. Modelos MNL con variables de la sección PR de la encuesta: Exp. 1 / Esc. A, A Coruña.....	298
Tabla 5.34. Modelos ML13-tpt(RC) para diferentes localizaciones: Exp. 1 / Esc. A	299
Tabla 5.35. Modelos MNL de referencia para diferentes localizaciones: Exp. 2 / Esc. B.....	300
Tabla 5.36. Modelos NL de referencia para diferentes localizaciones: Exp. 2 / Esc. B.....	301
Tabla 5.37. Modelos ML(EC) de referencia para diferentes localizaciones: Exp. 2 / Esc. B....	302
Tabla 5.38. Modelos ML10-t1,pt(RC) para diferentes localizaciones: Exp. 2 / Esc. B	304
Tabla 5.39. Modelos ML10-ASCi(RC) para diferentes localizaciones: Exp. 2 / Esc. B	305
Tabla 5.40. Modelos MNL de referencia para diferentes localizaciones: Exp. 1 / Esc. B.....	306
Tabla 5.41. Modelos NL de referencia para diferentes localizaciones: Exp. 1 / Esc. B.....	307
Tabla 5.42. Modelos ML(EC) de referencia para diferentes localizaciones: Exp. 1 / Esc. B....	308
Tabla 5.43. Modelos ML13-t1,pt(RC) para diferentes localizaciones: Exp. 1 / Esc. B	309
Tabla 5.44. Modelos ML13-ASCi(RC) para diferentes localizaciones: Exp. 1 / Esc. B	310
Tabla 5.45. Modelos MNL de referencia para las 2 encuestas en A Coruña: Exp. 2 / Esc. A .	312
Tabla 5.46. Probabilidad de elección de las alternativas de transporte público para las 2 encuestas en A Coruña: Exp. 2 / Esc. A	312
Tabla 5.47. Modelos MNL y NL de referencia para las dos encuestas en A Coruña: Exp. 2 / Esc. B	313
Tabla 5.48. Modelos MNL considerando la experiencia previa en la red de transporte público PR para las 2 encuestas en A Coruña: Exp. 2 / Esc. A	314
Tabla 5.49. Modelos MNL10-ch (elección de modo de transporte PR) para cada una de las ciudades francesas estudiadas: Exp. 2 / Esc. A	317
Tabla 5.50. Valores normalizados de los parámetros en modelos MNL10-ch (elección de modo de transporte PR) para Francia y ciudades francesas excepto Lille: Exp. 2 / Esc. A.....	318
Tabla 5.51. Modelos MNL10-ch y ML10-ch4,3(RC) (elección de modo de transporte PR) para Francia y ciudades francesas excepto Lille: Exp. 2 / Esc. A.....	320
Tabla 5.52. Valores normalizados de los parámetros en modelos ML10-ch4,3(RC) (elección de modo de transporte PR) para Francia y ciudades francesas excepto Lille: Exp. 2 / Esc. A.....	320
Tabla 5.53. Modelos ML10-ch4,3(RC) (elección de modo de transporte PR) para cada una de las ciudades francesas estudiadas: Exp. 2 / Esc. A.....	321
Tabla 5.54. Modelos MNL10-ch (elección de modo de transporte PR) para Francia y ciudades francesas excepto Lille: Exp. 2 / Esc. B	322
Tabla 5.55. Valores normalizados de los parámetros en modelos MNL10-chS (elección de modo de transporte PR) para Francia y ciudades francesas excepto Lille: Exp. 2 / Esc. B.....	323
Tabla 5.56. Modelos MNL10-ch (elección de modo de transporte PR) con 4 y 5 categorías para Lille: Exp. 2 / Esc. A	325
Tabla 5.57. Efecto conjunto de ASC y coeficientes de elección de modo PR sobre la utilidad de la alternativa ferroviaria PD con 4 y 5 categorías para Lille: Exp. 2 / Esc. A	326
Tabla 5.58. Modelos MNL10-chS y MNL10-chG (elección de modo de transporte PR) con 4 y 5 categorías para Lille: Exp. 2 / Esc. B	328
Tabla 5.59. Efecto conjunto de ASC y coeficientes de elección de modo PR sobre la utilidad de la alternativa ferroviaria PD con 4 y 5 categorías para Lille: Exp. 2 / Esc. B	329

Tabla 5.60. Modelos MNL10 y ML10 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. A	332
Tabla 5.61. Valores normalizados de los parámetros en modelos MNL10 y ML10 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. A	333
Tabla 5.62. Probabilidad de elección de las alternativas de transporte público en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. A	333
Tabla 5.63. Valores de SVT para los modelos MNL10 y ML10 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. A	333
Tabla 5.64. Modelos MNL13 y ML13 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. A	334
Tabla 5.65. Valores normalizados de los parámetros en modelos MNL13 y ML13 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. A	335
Tabla 5.66. Test-t de igualdad de parámetros para la categoría A del atributo tipo de transporte público en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. A	335
Tabla 5.67. Test-t de igualdad de parámetros para la categoría B del atributo tipo de transporte público en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. A	336
Tabla 5.68. Probabilidad de elección de las alternativas de transporte público en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. A	337
Tabla 5.69. Valores de SVT para los modelos MNL13 y ML13 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. A	338
Tabla 5.70. Modelos MNL10 y NL10 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. B	339
Tabla 5.71. Modelos ML10(EC) y ML10(RC) en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. B	340
Tabla 5.72. Valores normalizados de los parámetros en modelos MNL10 y NL10 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. B	340
Tabla 5.73. Valores normalizados de los parámetros en modelos ML10(EC) y ML10(RC) en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. B	341
Tabla 5.74. Diferencias en los valores normalizados de los parámetros en modelos ML10(EC) y ML10(RC) en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. B	341
Tabla 5.75. Valores de SVT para los modelos MNL10 y NL10 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. B	341
Tabla 5.76. Valores de SVT para los modelos ML10 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. B	342
Tabla 5.77. Modelos MNL13 y NL13 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B	343
Tabla 5.78. Modelos ML13(EC) y ML13(RC) en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B	344
Tabla 5.79. Valores normalizados de los parámetros en modelos MNL13 y NL13 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B	344
Tabla 5.80. Valores normalizados de los parámetros en modelos ML13(EC) y ML13(RC) en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B	345
Tabla 5.81. Diferencias en los valores normalizados de los parámetros en modelos ML13(EC) y ML13(RC) en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B	345

Tabla 5.82. Test-t de igualdad de parámetros para la categoría tipo de transporte público A en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B	346
Tabla 5.83. Test-t de igualdad de parámetros para la categoría tipo de transporte público B en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B	346
Tabla 5.84. Valores de SVT para los modelos MNL13 y NL13 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B	349
Tabla 5.85. Valores de SVT para los modelos ML13 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B	349
Tabla 5.86. Test de hipótesis no jerarquizadas para modelos NL10 y ML10: Exp. 2 / Esc. B, Nantes	351
Tabla 5.87. Test de hipótesis no jerarquizadas para modelos NL10 y ML10: Exp. 2 / Esc. B, Vitoria-Gasteiz	352
Tabla 5.88. Test de hipótesis no jerarquizadas para modelos NL13 y ML13: Exp. 1 / Esc. B, Nantes	352
Tabla 5.89. Test de hipótesis no jerarquizadas para modelos NL13 y ML13: Exp. 1 / Esc. B, Vitoria-Gasteiz	352
Tabla 5.90. Probabilidad de elección de las alternativas de transporte público en igualdad de condiciones: Exp. 2 / Esc. A	358
Tabla 5.91. Probabilidad de elección de las alternativas de transporte público en igualdad de condiciones: Exp. 1 / Esc. A	359
Tabla 5.92. Test de igualdad de parámetros para las categorías “A” y “B” del tipo de transporte público: escenario A	359
Tabla 5.93. Test de igualdad de parámetros para la “categoría B” del tipo de transporte público: escenario B	360
Tabla 5.94. Test de igualdad de parámetros para la “categoría A” del tipo de transporte público: escenario B	361
Tabla 5.95. Modelos ML10-chS(EC) para las distintas localizaciones: Exp.2 / Esc. B	363
Tabla 5.96. Modelos ML13-chS(EC) para las distintas localizaciones: Exp.1 / Esc. B	364
Tabla 6.1. Modelos MNL y ML empleados en el análisis del reparto modal obtenido (Nantes y Vitoria-Gasteiz)	368
Tabla 6.2. Enumeración muestral con 3 alternativas disponibles: Nantes	371
Tabla 6.3. Enumeración muestral con 3 alternativas disponibles: Vitoria-Gasteiz	371
Tabla 6.4. Resultados de la enumeración muestral para Nantes con 2 alternativas disponibles: coche frente a autobús	373
Tabla 6.5. Resultados de la enumeración muestral para Nantes con 2 alternativas disponibles: coche frente a modo ferroviario	373
Tabla 6.6. Resultados de la enumeración muestral para Vitoria-Gasteiz con 2 alternativas disponibles: coche frente a autobús	373
Tabla 6.7. Resultados de la enumeración muestral para Vitoria-Gasteiz con 2 alternativas disponibles: coche frente a modo ferroviario	373
Tabla 6.8. Probabilidad de elección para un individuo tipo con 3 alternativas disponibles: situación inicial	375
Tabla 6.9. Probabilidad de elección para un individuo tipo con 3 alternativas disponibles: categoría A de transporte público	376

Tabla 6.10. Probabilidad de elección para un individuo tipo con 3 alternativas disponibles: categoría C de transporte público	376
Tabla 6.11. Probabilidad de elección para un individuo tipo con 3 alternativas disponibles: disminución del 20% en el tiempo de viaje para el transporte público	376
Tabla 6.12. Probabilidad de elección para un individuo tipo con 3 alternativas disponibles: disminución del 25% en el coste para el transporte público	376
Tabla 6.13. Probabilidad de elección para un individuo tipo con 3 alternativas disponibles: aumento de 1€ en el coste de aparcamiento	377
Tabla 6.14. Probabilidad de elección para un individuo tipo con 3 alternativas disponibles: aumento del coste de aparcamiento en función del valor de referencia	377
Tabla 6.15. Probabilidad de elección para un individuo tipo con coche y autobús como disponibles: Nantes	379
Tabla 6.16. Probabilidad de elección para un individuo tipo con coche y modo ferroviario como disponibles: Nantes	379
Tabla 6.17. Probabilidad de elección para un individuo tipo con coche y autobús como disponibles: Vitoria-Gasteiz.....	379
Tabla 6.18. Probabilidad de elección para un individuo tipo con coche y modo ferroviario como disponibles: Vitoria-Gasteiz.....	379
Tabla 6.19. Valores empleados en el cálculo de las elasticidades de la demanda.....	381
Tabla 6.20. Elasticidad de la demanda directa y cruzada en la ciudad de Nantes	382
Tabla 6.21. Elasticidad de la demanda directa y cruzada en la ciudad de Vitoria-Gasteiz	382
Tabla 6.22. Porcentaje de variación relativa de la demanda de transporte público en la ciudad de Nantes	383
Tabla 6.23. Porcentaje de variación relativa de la demanda de transporte público en la ciudad de Vitoria-Gasteiz	383
Tabla 6.24. Resumen de las variaciones en atributos realizadas en políticas simuladas	388
Tabla 6.25. Cuotas agregadas de las alternativas de transporte público en simulación del enfoque teórico: Nantes	389
Tabla 6.26. Cuotas agregadas de las alternativas de transporte público en simulación del enfoque teórico: Vitoria-Gasteiz	390
Tabla 6.27. Porcentaje de variación de la demanda de transporte público en simulación del enfoque teórico: Nantes	391
Tabla 6.28. Porcentaje de variación de la demanda de transporte público en simulación del enfoque teórico: Vitoria-Gasteiz	392
Tabla 6.29. Cuotas agregadas de las alternativas de transporte público en simulación del enfoque corredor: Nantes.....	397
Tabla 6.30. Cuotas agregadas de las alternativas de transporte público en simulación del enfoque corredor: Vitoria-Gasteiz	397
Tabla 6.31. Porcentaje de variación de la demanda de transporte público en simulación del enfoque corredor: Nantes.....	398
Tabla 6.32. Porcentaje de variación de la demanda de transporte público en simulación del enfoque corredor: Vitoria-Gasteiz	398

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1. Tranvía sobre neumáticos de Clermont-Ferrand	44
Fig. 2.2. Ejemplo de plataforma reservada para un sistema BHLS: Busway-Nantes.....	48
Fig. 3.1. Frontera tecnológica y roles de los datos PR y PD	75
Fig. 3.2. Proceso de generación de experimento PD	83
Fig. 3.3. Imagen mostrada en el ejercicio de elección no etiquetado del cuestionario realizado en el grupo focal	91
Fig. 3.4. Diseño experimental ortogonal para encuesta previa y piloto a partir de la herramienta estadística SPSS.....	103
Fig. 3.5. Presentación de situación de elección para el experimento 1 en la encuesta piloto .	117
Fig. 3.6. Diseño experimental eficiente para encuesta final a partir de la herramienta Ngene	133
Fig. 3.7. Presentación del atributo tipo de transporte público en la encuesta final.....	134
Fig. 3.8. Presentación de situación de elección para el experimento 1 en la encuesta final....	137
Fig. 3.9. Tranvía turístico en A Coruña a su paso frente al museo Domus	140
Fig. 3.10. Diseño experimental eficiente para encuesta complementaria a partir de la herramienta Ngene.....	153
Fig. 3.11. Presentación de una situación de elección para el experimento 1 en la encuesta complementaria	154
Fig. 4.1. Ciudades francesas que disponen de “transporte colectivo en sitio propio”	162
Fig. 4.2. Representación gráfica de la evolución y previsión del número de kilómetros de sistemas de “transporte colectivo en sitio propio” en ciudades francesas.....	163
Fig. 4.3. Plano de la nueva red de autobuses de altas prestaciones en Barcelona. Previsión para el año 2016	165
Fig. 4.4. Vehículos y paradas pertenecientes al TRAM de Castellón-Transporte Metropolitano de la Plana.....	166
Fig. 4.5. Plano simplificado de la red de transporte público de la ciudad de Vitoria-Gasteiz ...	168
Fig. 4.6. Plano de la red de transporte público de la ciudad de Nantes	170
Fig. 4.7. Cuotas para cada tipo de “transporte público colectivo en sitio propio” en diferentes ciudades francesas	172
Fig. 4.8. Sistemas de transporte en Lille: VAL (a), LRT (b) y autobús mejorado (c)	173
Fig. 4.9. Plano de los sistemas ferroviarios de la red de transporte de la ciudad de Lille	174
Fig. 4.10. Plano de las líneas esenciales en el área metropolitana de Valenciennes.....	175
Fig. 4.11. Porcentaje absoluto (a) y acumulado (b) de encuestados según su edad.....	195
Fig. 4.12. Porcentaje absoluto (a) y acumulado (b) de encuestados según su nivel de gasto neto.....	197
Fig. 4.13. Porcentaje de encuestados según su experiencia previa con la red de transporte público existente en ciudades francesas estudiadas.....	198

Fig. 4.14. Porcentajes del reparto modal PR en A Coruña (a, final) y (b, complementaria), Vitoria-Gasteiz (c), Clermont-Ferrand (d), Lille (e), Valenciennes (f), Nantes (g) y agregado de las ciudades francesas (h)	200
Fig. 5.1. Estructura de modelo logit jerárquico con 3 alternativas	210
Fig. 5.2. Estructura de modelo logit jerárquico con varios nidos y niveles	214
Fig. 5.3. Esquema de los diferentes modelos en función de las especificaciones de la utilidad de las alternativas a partir de la especificación base	233
Fig. 5.4. Variación del ratio normalizado β_{nt}/β_c en modelos MNL10-ch (elección de modo de transporte PR) para Francia y ciudades francesas excepto Lille: Exp. 2 / Esc. A.....	319
Fig. 5.5. Variación del ratio normalizado $\beta_{nt}/\beta_{c,pt}$ en modelos MNL10-chS (elección de modo de transporte PR) para Francia y ciudades francesas excepto Lille: Exp. 2 / Esc. B.....	324
Fig. 5.6. Variación de los coeficientes del tipo de transporte público en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. A.....	336
Fig. 5.7. Efecto conjunto de los coeficientes del tipo de transporte público y la ASC en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. A.....	337
Fig. 5.8.a. Variación de los coeficientes del tipo de transporte público en Nantes: Exp. 1 / Esc. B.....	347
Fig. 5.8.b. Variación de los coeficientes del tipo de transporte público en Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B.....	347
Fig. 5.9.a. Efecto conjunto de los coeficientes del tipo de transporte público y ASC en Nantes: Exp. 1 / Esc. B.....	348
Fig. 5.9.b. Efecto conjunto de los coeficientes del tipo de transporte público y ASC en Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B	348

Abreviaciones

Se presentan a continuación las abreviaciones más importantes empleadas en esta tesis. En cualquier caso el significado de las mismas será indicado explícitamente en el texto, al menos cuando se introduzca por primera vez el concepto o conceptos a los que hace referencia.

AVC: matriz asintótica de varianza-covarianza (*Asymptotic Variance Covariance matrix*)

ASC: constante específica de alternativa (*Alternative Specific Constant*)

BHLS: autobús de alto nivel de servicio (*Bus with High Level of Service*)

BIOGEME: *Blerlaire Optimization toolbox for GEV Model Estimation*

BRT: *Bus Rapid Transit*

CATI: *Computer Aided Telephone Interview*

CAPI: *Computer Aided Personal Interview*

CR: *Chance Recovery*

DCM: modelo de elección discreta (*Discrete Choice Model*)

EC: especificación como componentes de error en modelos ML (*Error Components*)

EMU: utilidad máxima esperada (*Expected Maximum Utility*)

ER: *Expected Recovery*

FPR: Porcentaje correctamente predicho (*First Preference Recovery*)

GEV: valor extremo generalizado (*Generalized Extreme Value*)

HL: modelo logit jerárquico (*Hierarchical Logit model*)

IAI: Independencia de Alternativas Irrelevantes

LRT: metro ligero (*Light Rail Transit*)

ML: modelo logit mixto (*Mixed Logit model*)

MNL: modelo logit multinomial (*MultiNomial Logit model*)

MNP: modelo probit (*MultiNomial Probit model*)

MRT: *Mass Rapid Transit*

NL: modelo logit anidado (*Nested Logit model*)

P+R: aparcamiento disuasorio (*Park and Ride*)

PD: datos de Preferencias Declaradas

PR: datos de Preferencias Reveladas

QBC: *Quality Bus Corridor*

RC: especificación como coeficientes aleatorios en modelos ML (*Random Coefficients*)

ROW: tipo de uso de la infraestructura (*Right Of Way*)

RSC: *Relabelling, Swapping, Cycling*

RUM: maximización de la utilidad aleatoria (*Random Utility Maximization*)

SCI: Sistema de transporte metropolitano de Capacidad Intermedia

SQI: *Service Quality Index*

SVT: valor subjetivo del tiempo (*Subjective Value of Time*)

RC: especificación como coeficientes aleatorios (*Random Coefficients*)

VAL: Vehículo Automático Ligero

WTP: *Willigness To Pay*

Nomenclatura

Se presenta a continuación la nomenclatura general empleada en esta tesis. Dado que se ha estimado un número de modelos muy elevado y con diferentes especificaciones de las utilidades de las alternativas, esta relación no es completa y en cada caso particular se detallan las denominaciones correspondientes.

U_{jq} , utilidad neta para el individuo q asociada a la alternativa j

V_{jq} , componente representativa o sistemática de la utilidad para el individuo q asociada a la alternativa j

ε_{jq} , componente estocástica de la utilidad en la que se engloban los gustos particulares de cada individuo así como los errores cometidos en la medición u observación (en este caso solamente la parte que distribuye Gumbel IID)

x_{jq} , atributos medibles correspondientes a la alternativa j para el individuo q

β , coeficientes o parámetros que multiplican a los atributos

P_{jq_s} , probabilidad de que el individuo q elija la alternativa j en la situación de elección s

y_{jq_s} , factor indicador de la elección (igual a 1 si el individuo q elige la alternativa j en la situación de elección s)

\mathcal{L} , función de verosimilitud de una muestra

LL , log-verosimilitud de una muestra

M , número de alternativas de transporte (*Modes*)

A , número de atributos (*Attributes*)

L , número de niveles de atributo (*Levels*)

B , número de bloques en los que se fragmenta un diseño experimental

LR , test de razón de máxima verosimilitud

Ω_Q , matriz de varianza-covarianza para Q individuos

I_Q , matriz de información de Fisher para Q individuos

$\tilde{\beta}$, valores previos aproximados de los parámetros asociados a los atributos

K , número de parámetros considerados en el modelo

UB_s , balance en la utilidad para una situación de elección s

γ_{jq} , componente estocástica de la utilidad que puede presentar cualquier tipo de distribución (logit mixto, especificación como componentes de error)

α_j , coeficientes fijos correspondientes a los atributos influyentes (logit mixto, especificación como componentes de error)

z_{jq} , datos observados (logit mixto, especificación como componentes de error)

- ξ_{jq} , coeficientes aleatorios con media cero (y una determinada matriz de covarianza) que ponderan datos observados z_{jq}
- ρ , coeficiente de correlación entre 2 parámetros dados
- θ , componente aleatoria que sigue una distribución normal con media cero y varianza conocida (modelo ML encuesta complementaria)
- n , tamaño de la muestra
- N , número de individuos que componen la población
- z , grado de confianza de la estimación
- s , desviación típica muestral de la variable analizada
- f , fracción de muestreo ($f=n/N$)
- p , proporción en la muestra para la categoría de examen
- q , es igual a $1 - p$
- e , error de muestreo
- S , número de situaciones de elección presentadas a cada encuestado
- η , parámetro de localización de una distribución Gumbel
- μ , parámetro de escala de una distribución Gumbel
- N_j , alternativa compuesta para el nido J en un modelo logit anidado (NL)
- λ_j , factor de escala para el nido j en un modelo logit anidado (NL)
- Φ_j , parámetros estructurales de la utilidad compuesta para el nido j en un modelo NL
- $L_{jq}(\beta)$, probabilidad logit evaluada para el valor de los parámetros β en un modelo ML
- r , número de extracción en modelos ML con especificación tipo coeficientes aleatorios
- R , número total de extracciones en un modelo ML con especificación tipo coeficientes aleatorios
- SP_{jq} , probabilidad simulada en modelos ML (estimador de P_{jq})
- Ω_A , matriz de covarianza de la diferencia entre utilidades
- $EC(\sigma)$, término aleatorio que distribuye normal con media cero y desviación σ
- $l^*(\beta)$, log-verosimilitud del modelo general para parámetros β
- $l^*(\beta_r)$, log-verosimilitud del modelo restringido con parámetros β_r
- $l^*(0)$, la log-verosimilitud del modelo equiprobable
- $\rho^2_{adj,i}$, índice rho cuadrado ajustado en el modelo i
- E_{jj} , elasticidad directa de la demanda de la alternativa j debida a una variación del atributo X perteneciente a la alternativa j
- E_{ji} , elasticidad cruzada de la demanda de la alternativa j debida a una variación del atributo X perteneciente a la alternativa i
- ΔP_j , variación relativa de la demanda de la alternativa j
- ω_x , número aleatorio entre cero y 1 empleado en la simulación del enfoque teórico
- φ_x , número aleatorio entre cero y 1 empleado en la simulación del enfoque corredor

CAPÍTULO 1

Introducción

1.1. Motivación

Cuando la demanda de transporte existente en una población de tamaño intermedio no puede ser satisfecha por sistemas de transporte de baja capacidad (como el autobús convencional o el tranvía), es necesario recurrir a soluciones de mayor capacidad. Si esta demanda no es tan elevada como para justificar la implantación de sistemas de alta capacidad (como por ejemplo el metro o el ferrocarril de cercanías), suele recurrirse a sistemas de capacidad intermedia (SCI).

Los ejemplo más representativos de SCI son el metro ligero (*Light Rail Transit*, LRT) y el autobús de alto nivel de servicio (*Bus with High Level of Service*, BHLS). Aunque la implantación de un LRT requiere de una mayor inversión inicial, esta tipología e SCI ha tenido un mayor desarrollo en el contexto europeo a lo largo de las últimas décadas del siglo XX. En algunos casos la decisión respecto a cuál es el SCI más adecuado se ha justificado con el argumento de que el metro ligero supone una opción más atractiva para los viajeros que los sistemas basados en el autobús, incluso aunque estos presentasen idénticas prestaciones de servicio.

La preferencia inherente por los modos ferroviarios frente al autobús es un tema que ha generado opiniones enfrentadas, denominándose este fenómeno como *rail factor*. La principal motivación de la presente tesis consiste en ahondar en esta área de conocimiento, es decir, se pretende analizar si existe esta preferencia hacia los sistemas de transporte público ferroviarios frente a los sistemas de transporte público basados en el autobús. En resumen, se estudia si un LRT tiene mayor capacidad de atracción de usuarios que un BHLS equivalente (es decir, con las mismas prestaciones de servicio).

Esta tesis se enmarca dentro del proyecto de investigación NASCI (comparación tecnológica, económica y de captación de usuarios de los Nuevos Avances en Sistemas de transporte metropolitano de Capacidad Intermedia), realizado por

miembros del grupo de investigación FERROTRANS (Grupo de Ferrocarriles y Transportes, Universidade da Coruña), del que forma parte el doctorando.

1.2. Objetivo de la investigación

Los objetivos concretos en los que se ha centrado la presente investigación son los siguientes:

- Analizar si existe una preferencia inherente hacia los sistemas de transporte público ferroviarios frente al autobús en el ámbito de los sistemas metropolitanos de capacidad intermedia (*rail factor*), y en caso afirmativo, cuantificarla en función de los diferentes contextos estudiados.
- Concretar cuál es la contribución a este fenómeno de ciertas variables clave en la percepción de la imagen del transporte público por parte de los usuarios.
- Por último, la obtención de patrones de elección de los usuarios mediante distintos indicadores de la capacidad de captación de viajeros de los diferentes SCI, ya sea en relación al sistema de transporte público existente inicialmente cuando se realiza la implantación de un nuevo sistema o la mejora del existente, o bien en relación al vehículo privado cuando se compara con éste.

1.3. Preguntas de investigación

Para lograr los objetivos descritos en el apartado anterior se formulan una serie de preguntas de investigación a las que debe darse respuesta. En primer lugar se muestra la pregunta principal de la investigación, en la que se resumen los objetivos perseguidos mediante la realización de la misma:

¿Existe una preferencia inherente hacia los modos de transporte ferroviarios frente al autobús en el ámbito de los sistemas de transporte de capacidad intermedia? Si es así, ¿cómo influye en este fenómeno la imagen percibida de las alternativas de transporte público por parte de los usuarios? Por último, ¿cuál es la repercusión de este fenómeno, denominado *rail factor*, en la capacidad de captación de viajeros de los sistemas de transporte público cuando se mejora el sistema existente o se implanta un sistema nuevo?

Además de la pregunta principal se han formulado también una serie de preguntas desagregadas de la investigación, con las que se consigue responder de forma concreta y ordenada a todos los aspectos que se plantean en la pregunta principal:

- ¿Qué conclusiones se extraen de la literatura consultada referente al *rail factor*?
- ¿Cuál es la metodología o las metodologías que parecen más adecuadas para comprobar la existencia del *rail factor* y cuantificarlo?
- ¿Cuáles son los principales atributos influyentes en la imagen que perciben los usuarios de los diferentes sistemas de transporte público?
- ¿Existe el *rail factor*? ¿Qué peso tiene en la capacidad de captación de viajeros?
- ¿Cómo afecta el contexto del proyecto al *rail factor*?
- ¿Cuál es la influencia en el *rail factor* de atributos característicos del transporte público tales como el grado de plataforma reservada, la información suministrada a los usuarios y la fiabilidad en los horarios?
- ¿Cómo afecta el *rail factor* a la capacidad de captación de viajeros no cautivos?
- ¿El grado de conocimiento de los sistemas de transporte público presentes en la red tiene influencia en el valor del *rail factor*?

1.4. Estructura de la tesis

Tras el presente capítulo de introducción el documento de tesis se estructura en los siguientes capítulos:

- En el capítulo 2 se exponen los distintos enfoques que se han aplicado hasta la situación actual en el ámbito de estudio, mediante un análisis de la literatura relacionada con el mismo. Para ello se define en primer lugar de forma unívoca el fenómeno objeto de estudio, es decir, el *rail factor*. Posteriormente se definen las características diferenciadoras de los diferentes tipos de alternativas de transporte público involucradas. En tercer lugar se realiza una revisión de los métodos y enfoques que se han empleado hasta la fecha para analizar la existencia del *rail factor*. Para finalizar se plantea la metodología o metodologías consideradas como más convenientes para el estudio del *rail factor*, y que por tanto se empleará en las siguientes fases de la investigación.
- En el tercer capítulo se muestra el procedimiento de diseño de encuestas destinadas a la captación de datos destinados a la posterior estimación del

reparto modal. De forma previa se analizan ciertas consideraciones teóricas relacionadas con las distintas tipologías de datos utilizados y los paradigmas correspondientes a los modelos empleados en la estimación. Posteriormente se presenta el proceso de generación de diseños experimentales, mostrando en primer lugar una breve descripción teórica de cada una de las fases que lo componen. Tras conocer estas bases teóricas se describen las decisiones concretas tomadas en cada fase y se muestran los valores de los factores que se adoptan en cada uno de los diseños experimentales considerados. En esta tesis se realiza un diseño experimental ortogonal, que da lugar a la encuesta piloto, y 2 diseños experimentales eficientes, que dan lugar a la encuesta final (que es la base de la mayor parte de modelos estimados) y a una encuesta complementaria posterior a esta última (para un caso particular). En todas las encuestas se consideran 2 experimentos diferentes en los que se presentan situaciones de elección a los encuestados. Estos deben decidir entre las distintas alternativas de transporte presentadas en 2 escenarios posibles, para cada una de las situaciones de elección.

- En el capítulo 4 se trata el desarrollo de las encuestas y las muestras obtenidas para cada una de las localizaciones consideradas. Se comienza definiendo la población objeto de estudio y se justifica la elección de las localizaciones o ciudades de tamaño intermedio estudiadas. En segundo lugar se describen los principales aspectos influyentes en el trabajo de campo y las adaptaciones realizadas en las encuestas en función de la localización. Para finalizar se realiza una caracterización de las muestras obtenidas tras el tratamiento de datos realizado inicialmente.
- En el quinto capítulo se tratan todos los aspectos de la estimación de modelos de reparto modal. En primer lugar se presentan las formulaciones teóricas de los modelos de elección discreta considerados. Posteriormente se muestran las diferentes especificaciones de la utilidad analizadas y los parámetros obtenidos en la calibración, analizándose en profundidad el procedimiento de obtención de modelos para una localización en concreto (la ciudad francesa de Nantes). En tercer lugar se muestra un resumen de los resultados obtenidos para cada una de las localizaciones estudiadas. Para finalizar se presentan una serie de casos de estudio particulares que son representativos de aspectos clave en el estudio de la existencia del *rail factor*.
- En el capítulo 6 se analizan los resultados del reparto modal obtenidos mediante los modelos que son considerados como los más adecuados para este estudio. Estos modelos se aplican sobre diferentes muestras en las 2

localizaciones clave de la investigación. En primer lugar se aplican estos modelos sobre la muestra original, obteniendo las cuotas del reparto modal mediante el procedimiento de enumeración muestral. Posteriormente se obtienen las probabilidades de elección de un individuo tipo y las elasticidades asociadas a distintas variables influyentes. En tercer lugar se simula una población de individuos que se enfrenta a la elección entre coche y un modo de transporte público, ferroviario o basado en el autobús, que presentan las mismas condiciones para el desplazamiento. Para finalizar, se simulan distintos escenarios que representan la transición ocurrida en un corredor de una ciudad hipotética en la que inicialmente existe un sistema de autobús convencional, sustituyéndose este por un SCI (ya sea un LRT o un BHLS).

- En el séptimo y último capítulo se presentan las principales conclusiones que pueden extraerse de esta investigación, así como las líneas de investigación futura. Cabe destacar que al final de cada uno de los anteriores capítulos se muestra un resumen parcial de las conclusiones correspondientes a cada uno de ellos, recogiendo en este último capítulo las conclusiones más importantes para analizar en detalle las repercusiones de cada una de ellas en el estudio del fenómeno *rail factor*.

1.5. Aportaciones

En la presente tesis se desarrolla una investigación empírica en la que se plasma una síntesis del estado del arte con varios enfoques teóricos adoptados para el estudio del fenómeno *rail factor*, el desarrollo de una metodología que combina varios enfoques de forma integral para el diseño de experimentos de elección, de las encuestas necesarias para llevarlos a cabo, y la estimación y aplicación de modelos de reparto modal en diferentes poblaciones reales así como sobre datos sintéticos. A continuación se destacan las principales aportaciones realizadas en esta tesis, indicando el capítulo en el que presenta cada una de ellas:

- Se realiza una síntesis de las conclusiones obtenidas hasta la fecha referentes al fenómeno *rail factor*, describiendo cada uno de los 3 principales enfoques metodológicos que suelen emplearse. Se analizan las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos y finalmente se plantea un enfoque metodológico en el que se mejora el procedimiento de modelización independiente de la demanda, que es el finalmente elegido. Esto se consigue mediante la consideración de distintos aspectos psicológicos, que pueden

influir en la imagen de los sistemas de transporte público que es percibida por los usuarios. Este análisis previo al procedimiento de recopilación de datos y estimación de modelos se muestra en el capítulo 2.

- Se recopila y analiza información relacionada con la generación de diseños experimentales eficientes con datos de preferencias declaradas (PD), para la evaluación de la demanda de transporte. Partiendo de una síntesis de la información consultada se realiza una estructura o guía metodológica en la que se enfrentan las 2 tipologías de diseños experimentales más destacadas, es decir, diseños ortogonales y diseños eficientes. Se hace especial hincapié en la generación de diseños de esta última tipología, ya que parecen haber alcanzado una madurez suficiente en los últimos años como para que pueda extenderse su uso. También se realiza un procedimiento secuencial en el que se tienen en cuenta los 2 enfoques, lo que no resulta habitual en las investigaciones consultadas hasta la fecha. Por lo tanto, se comienza con un diseño ortogonal cuyos resultados son la base para un posterior diseño eficiente. En este caso, se emplea de nuevo esta información en un re-diseño eficiente con el que se analizan algunas características particulares del fenómeno estudiado. Todas estas actuaciones relacionadas con los diseños experimentales para la recopilación de datos se muestran en el capítulo 3.
- Se analizan las principales diferencias presentes en las características de los SCI en distintos contextos europeos, entre los que se encuentra España. Esto permite realizar una selección justificada de la población y de las localizaciones objeto de estudio, adaptando la tipología de muestreo al estudio. El muestreo es una parte del proceso a la que no suele prestarse toda la atención que se merece, sobre todo si se trata de un muestreo no probabilístico. En este caso se toman las medidas posibles para evitar los posibles efectos de distintos tipos de sesgos, determinando el tamaño mínimo de muestra a partir de las pautas obtenidas en diferentes investigaciones mediante fórmulas empíricas y reglas de buena práctica. Por último, se incorpora una variable relacionada con la experiencia previa de los usuarios con la red de transporte público existente, en la que se refleja la percepción de los usuarios respecto a su propia experiencia. Estos aspectos relacionados con la selección de población y localizaciones, muestreo y recopilación de datos se describen en el capítulo 4.
- Posteriormente se realiza un procedimiento sistemático de búsqueda de la especificación de referencia para el análisis del fenómeno estudiado. A lo largo de este procedimiento se consideran muchas de las posibles combinaciones de las variables influyentes en los distintos experimentos y escenarios de elección,

teniendo en cuenta además las diferentes tipologías de modelos de elección discreta más importantes (logit multinomial, logit jerárquico o anidado y logit mixto en sus 2 especificaciones). Mediante este procedimiento se analizan distintas estructuras de error en la modelización del reparto modal para cada una de las localizaciones estudiadas. Además, se obtienen resultados para varios casos de estudio particulares, a través de diferentes enfoques. Estos son: el estudio de la influencia de la etiqueta del modo ferroviario en la elección de modo, los efectos de la coexistencia de un SCI con modos que utilizan plataforma independiente en sus desplazamientos y la comparación entre 2 ciudades europeas de distintos países pero con ciertas similitudes en la red de transporte público. Todos los procedimientos descritos en este punto se muestran en el capítulo 5.

- Se realiza un análisis del reparto modal obtenido en 2 ciudades de tamaño intermedio a través de varios enfoques: enumeración muestral, simulación de un único individuo hipotético tipo y simulación de poblaciones (datos sintéticos). En los 2 primeros casos se obtienen indicadores de la validez de los modelos y elasticidades de la demanda, mientras que en la simulación se tienen en cuenta 2 enfoques que son adecuados para este estudio: en primer lugar, un enfoque teórico con el que se persigue plasmar una igualdad de las condiciones entre las alternativas de transporte público, necesaria en la comparación dada la definición de *rail factor*, mientras que en segundo lugar se analiza el reparto mediante un enfoque más realista (enfoque corredor), que se corresponde con la situación que generalmente suele presentarse en la realidad cuando se quieren mejorar las prestaciones de una línea de autobús convencional en una ciudad de tamaño intermedio, es decir, cuando se sustituye el autobús convencional por un SCI en el que el valores de los atributos son diferentes en función de la tipología considerada (BHLS o LRT). Las tareas y conclusiones relacionadas con el análisis del reparto modal se realizan en el capítulo 6.
- Finalmente, además de las conclusiones principales que pueden extraerse de la presente tesis, en el capítulo 7 se proponen diferentes líneas de investigación que sería interesante abordar en el futuro con el objetivo de adquirir mayor conocimiento sobre el fenómeno *rail factor*.

CAPÍTULO 2

Metodologías para el análisis de la preferencia inherente hacia los modos ferroviarios (*rail factor*)

2.1. Introducción

Los sistemas de transporte metropolitano de capacidad intermedia (SCI) se emplean cuando es necesario satisfacer una demanda de transporte que no puede ser asumida por sistemas de baja capacidad (como por ejemplo el autobús convencional o el tranvía), y además esta demanda no es tan elevada como para justificar la implantación de sistemas de alta capacidad (como por ejemplo el metro o el ferrocarril de cercanías). Estos sistemas también se emplean cuando se requiere mejorar la calidad del transporte público para hacerlo más competitivo frente al vehículo privado, siendo en este caso el objetivo fundamental perseguido el de mejorar la captación de este grupo de potenciales usuarios.

Los ejemplos de SCI más habituales son el metro ligero (*Light Rail Transit*, LRT) y el autobús de alto nivel de servicio (*Bus with High Level of Service*, BHLS). El mayor desarrollo del LRT en el contexto europeo durante las últimas décadas del siglo XX se debe, en cierta medida, a que ha sido considerado como una opción más atractiva para los viajeros que los sistemas basados en el autobús. En algunos casos se ha justificado con este argumento la implantación de un sistema que necesita una mayor inversión inicial, aunque no fuese necesario recurrir al mismo si se considera la capacidad requerida por la demanda prevista (Novales, Orro, Conles & Anta, 2012). “*Trains are sexy and buses are boring*” es uno de los dichos habitualmente empleados en el ámbito del transporte público y que ilustra por sí mismo la visión que existe respecto a este tema (Richmond, 1998, p. 306).

La anterior frase es atribuida a un político de la ciudad norteamericana de Los Ángeles, y es precisamente en los Estados Unidos donde se encuentran algunos de los ejemplos más representativos de este tipo de políticas. En las últimas décadas del

siglo XX se realizó una fuerte inversión por parte del gobierno federal para aumentar el protagonismo del transporte público. De los 60 000 M\$ invertidos, las distintas autoridades locales destinaron más de una cuarta parte a la construcción de nuevas líneas de LRT (Pickrell, 1992, p. 158). Aunque las decisiones tomadas en ese momento parecieron correctamente justificadas, estudios posteriores sobre 8 de las ciudades en las que se implantaron LRT demostraron que se había sobreestimado la capacidad de captación de viajeros a la vez que se habían subestimado los costes de implantación y operación de estos sistemas. En otro estudio en el que se incluían varias ciudades de diferentes países (tales como Francia, Austria, Reino Unido, Canadá, Australia, Hong Kong y Estados Unidos) se llegó a una conclusión similar, considerando que uno de los principales motivos por los que se sobreestimó la capacidad de captación de viajeros de un nuevo sistema de transporte público de tipo ferroviario, estaban relacionados con factores políticos. Esto es debido a que en su momento se percibían estas implantaciones como un intento de proporcionar una alternativa de transporte público más atractiva que la existente (autobús en la mayor parte de los casos) frente al coche (Mackett & Edwards, 1992, p. 241).

La preferencia inherente hacia los modos ferroviarios frente al autobús es un tema que ha generado opiniones enfrentadas, y sobre el que se han planteado algunas incógnitas que pueden resumirse en las preguntas siguientes: ¿realmente los sistemas de transporte ferroviarios atraen a más usuarios potenciales que otros tipos de sistemas de transporte público?, y en caso afirmativo, ¿cuáles son los factores que dan lugar a esta mayor atracción?

El capítulo 2 se organiza de la siguiente forma: en primer lugar se define el concepto *rail factor*, que forma parte del eje central de la presente investigación. Posteriormente se analizan las principales características de los SCI de tipo ferroviario, indicándose también la nomenclatura o denominaciones empleadas para designar los diferentes modos de transporte ferroviarios a lo largo de la investigación. En el apartado cuarto se procede de forma análoga para los sistemas de transporte basados en el autobús. A continuación se analizan los distintos enfoques empleados hasta la fecha para analizar la existencia del *rail factor*, mostrándose en el sexto apartado un resumen de las principales conclusiones que pueden extraerse de la bibliografía consultada. Por último, en el apartado séptimo se describe la metodología que finalmente se adopta en la investigación.

Por lo tanto, en este capítulo se tratarán aspectos relacionados con las siguientes preguntas desagregadas de la investigación:

- ¿Qué conclusiones se extraen de la literatura consultada referente al *rail factor*?
- ¿Cuál es la metodología o las metodologías que parecen más adecuadas para comprobar la existencia del *rail factor* y cuantificarlo?
- ¿Cuáles son los principales atributos influyentes en la imagen que perciben los usuarios de los diferentes sistemas de transporte público?

2.2. Rail factor: definición adoptada

En el ámbito científico se ha debatido ampliamente sobre si los sistemas de transporte ferroviarios tienen una capacidad de atracción de viajeros mayor que los sistemas de transporte basados en el autobús. Este fenómeno ha sido denominado de diferentes formas, como por ejemplo *rail factor* (Scherer, 2011), *rail bonus* (Axhausen, Haupt, Fell & Heidl, 2001) o *tram bonus* (Bunschoten, 2012). Independientemente de la denominación empleada para diferenciar a los sistemas de transporte, en todos los casos se alude a una preferencia inherente hacia los modos ferroviarios por resultar más atractivos o por tener una mejor imagen que los sistemas de transporte basados en el autobús. Es decir, que ante la posibilidad de elegir bien un autobús o bien un modo ferroviario (como por ejemplo un tranvía, un metro ligero, etc.) con las mismas condiciones de nivel de servicio, la imagen percibida de este último influirá positivamente en la elección del mismo.

Por este motivo, una denominación que podría resultar más intuitiva para este fenómeno es la empleada por Milena Scherer y Katrin Dziekan, quienes utilizan un enfoque basado en la psicología cognitiva humana para determinar si existe esta preferencia inherente por los modos ferroviarios, denominando a este efecto como *psychological rail factor* (Scherer & Dziekan, 2012, p. 75). En distintos estudios realizados por estas autoras se introducen variables explicativas emocionales (como la imagen ofrecida por el sistema, la facilidad de utilización del mismo, etc.), considerando que su influencia es al menos tan determinante como algunas de las características de nivel de servicio (por ejemplo, el tiempo o el coste).

En la presente tesis se ha decidido tomar la denominación *rail factor* como la de referencia para el fenómeno estudiado, adoptándose la siguiente definición para el mismo:

El rail factor es un fenómeno que consiste en la existencia de una preferencia inherente hacia los sistemas de transporte ferroviarios frente a sistemas de transporte equivalentes basados en el autobús, es decir, que ofrecen al usuario exactamente las mismas condiciones en el desplazamiento considerado.

Por último cabe destacar que si bien no se ha limitado esta definición al ámbito de los SCI, estos son el objetivo último de esta investigación. Aunque a la hora de evaluar si existe el *rail factor* no es necesario limitarse a un tipo de sistemas de transporte con una capacidad concreta, es aconsejable realizar comparaciones entre sistemas que posean una capacidad similar. El motivo es que sus características deben ser similares para posibilitar en cierta medida una igualdad de condiciones que es necesaria por definición para evaluar este fenómeno.

2.3. Sistemas de transporte ferroviarios: metro ligero frente a tranvía

Aunque existe consenso entre los técnicos españoles del ámbito del transporte a la hora de definir y diferenciar los sistemas de metro ligero de los sistemas tranviarios, a menudo estos términos no son diferenciados fácilmente por los usuarios, las administraciones y los operadores de transporte. Las principales características que presenta un sistema de metro ligero son las siguientes (CICCP, 2009):

- Se trata de un sistema metropolitano guiado mediante rueda de acero y carril de acero, y con tracción normalmente eléctrica.
- Discurre en superficie en la mayor parte del recorrido, aunque puede tener pequeños tramos soterrados o en estructura.
- El material móvil es “ligero”, es decir, tiene un peso por eje inferior al del metro convencional y la longitud de las composiciones de vehículos está limitada para permitir su integración en la calle.
- Circula en plataforma reservada separada físicamente del resto del tráfico, aunque admite puntos de cruce con otros usuarios de la red. Pueden existir pequeños tramos con plataforma compartida, pero si estos condicionan la

explotación del sistema o suponen una proporción significativa del recorrido, el sistema será entonces tranviario.

Por lo tanto, una de las principales características que define a los modos de transporte público es el uso de la infraestructura (ROW, *Right Of Way*). Atendiendo a este factor existen 3 categorías de uso de la plataforma o infraestructura (Vuchic, 2007, p. 47)

- C - Calles con tráfico mixto: en esta categoría se incluyen principalmente la mayor parte de los sistemas basados en el autobús, además del trolebús y del tranvía.
- B - Carriles parcialmente separados, generalmente ubicados en medianas: requiere de mayores inversiones y en ellos operan sistemas de transporte público que tienen una capacidad mayor que los de la categoría anterior. Se incluyen el LRT y los sistemas de autobús semi-rápidos.
- A - Vías de uso exclusivo para vehículos de transporte público: como es el caso del BRT (*Bus Rapid Transit*) o de los sistemas de metro. En esta categoría se encuadran los sistemas de transporte público de mayor capacidad.

	Tranvía	Metro ligero
Características del vehículo/composición		
Unidad mínima de funcionamiento	1	1 (4 a 10* ejes)
Máxima composición	3	2-4 (6 a 8 ejes)
Longitud de vehículo (m)	14-35	15-54
Asientos por vehículo	22-40	25-80
Capacidad del vehículo	100-250	110-350
Instalaciones fijas		
Plataforma reservada (% longitud del recorrido)	0-70*	70*-90
Control del vehículo	Manual/visual	Manual/señales
Venta de billetes: auto servicio o:	En vehículo	En vehículo/parada
Estaciones		
Altura de andén	Bajo	Bajo o alto
Control de acceso	Ninguno	Ninguno o completo
Características de operación		
Velocidad máxima (km/h)	60-70	60-100*
Velocidad comercial (km/h)	12-20	15*-30*
Frecuencia máxima		
Hora punta, sección conjunta (ud/h)	60-120	40-90
Capacidad (v/h)	4 000-8 000	6 000-20 000
Fiabilidad	Baja-media	Alta

Tabla 2.1. Características técnicas y operativas de tranvía y metro ligero (Fuente: Vuchic, 2007, p. 311)

*Valores modificados por el autor de la tesis

Aunque esta característica es notable y supone la principal diferencia entre tranvía y metro ligero, no se trata de la única, por lo que puede ser difícil clasificar el sistema de transporte implantado en algunas ciudades (Vuchic, 2007). Sin embargo, estas excepciones no deberían suponer un problema a la hora de diferenciar el metro ligero de los sistemas tranviarios en la mayor parte de los casos. En la tabla anterior se muestra un resumen de las principales características que diferencian a estos sistemas.

Si se compara la visión española con la que se tiene en otros países, se observan una serie de diferencias a la hora de trazar la línea que separa a estos sistemas ferroviarios. Por ejemplo, en Francia el término tranvía se asocia a sistemas que disponen de plataforma reservada y guiado material permanente (independientemente de que utilicen material rodante ferroviario o circulen sobre neumáticos, como ocurre con el Translohr de Clermont-Ferrand). Por otro lado se denomina metro ligero a algunos sistemas de transporte ferroviario que circulan en túnel o viaducto y que no admiten cruces de ningún tipo, como por ejemplo, el Vehículo Automático Ligero (VAL) en Lille (CERTU, 2009).



Fig. 2.1. Tranvía sobre neumáticos de Clermont-Ferrand (Fuente: CERTU, 2009, p. 2)

Además de las diferencias halladas en los términos empleados en distintos países, también existe cierta tendencia a emplear nombres distintos para denominar a un único tipo de sistema, incluso en un mismo país, tal y como puede verse en la siguiente reflexión que alude al concepto de metro ligero:

This last is similar to a metro system but it lacks the full grade separation and complete exclusivity of true metro systems. Terms such as light rail metro, light metro, rapid light rail [transit] (RLRT) or light rail rapid transit (LRRT) could all be used to refer to such a system, [...] (James, 2008, p.10)

Para evitar posibles confusiones e independientemente de la denominación del país donde se realiza el estudio correspondiente, de aquí en adelante se emplearán los siguientes términos a lo largo de la tesis:

- De forma general se hablará de FERROVIARIO o *rail-based* (ya sea modo, alternativa, sistema de transporte, etc.) cuando se haga referencia a aquellos transportes públicos que se desplazan sobre carriles y que emplean como guiado el sistema de contacto rueda de acero-carril de acero.
- Posteriormente, y a la hora de realizar las comparaciones necesarias para evaluar la existencia del *rail factor*, se hablará de 3 tipos de sistemas de transporte ferroviarios:
 - Metro ligero (LRT): se trata de un SCI que tiene las características indicadas al comienzo de este apartado (CICCP, 2009).
 - Tranvía convencional: se trata de un modo ferroviario cuya principal diferencia con el anterior es el tipo de uso de la plataforma por la que circula. El tranvía convencional no dispone de reserva de plataforma, lo que se denomina como categoría C. Además, posee las características técnicas y operativas mostradas en la primera columna de la tabla 2.1.
 - Tranvía mejorado: se trata de un modo ferroviario intermedio entre los 2 anteriores, es decir, parte del recorrido transcurre en plataforma categoría B y parte en plataforma categoría C.

Aunque este tema será tratado en profundidad en el próximo capítulo, puede adelantarse que los 3 tipos de sistemas ferroviarios aquí descritos serán considerados en un ejercicio hipotético de elección, y la denominación empleada para cada uno de ellos dependerá de un atributo llamado tipo de transporte público, de tal forma que metro ligero, tranvía mejorado y tranvía convencional se corresponderán con el nivel A, B y C del mencionado atributo, respectivamente.

2.4. Sistemas de transporte basados en el autobús: autobús de alto nivel de servicio frente a autobús convencional

A continuación se describen las características principales de los diferentes sistemas de transporte basados en el autobús, del mismo modo que se han definido los distintos

sistemas de transporte ferroviarios en el apartado anterior, indicando también la denominación empleada en cada caso.

Tradicionalmente los viajes en autobús han sido asociados a un sistema de baja calidad, condicionado por los efectos de la congestión (mayor tiempo de viaje, irregularidad en los horarios, etc.), con una mala imagen de los vehículos y de las paradas. Un ejemplo claro de este pensamiento puede encontrarse el siguiente discurso de campaña electoral de un político decidido a implantar un sistema ferroviario en Los Ángeles:

People don't like buses. People just hate buses. They have to sit in the damned sun and they got to sit and take all the fumes from the cars and the diesel Mercedes, and the diesel buses that aren't theirs, and wait until their bus comes along, get in, crowd, lurch, be abused by the operator, and just drag red light to red light or whatever the situation is, until they finally get to their destination.
(Richmond, 1998, p. 303)

En el contexto del continente americano esta imagen ha mejorado de forma sustancial con la introducción del BRT. Se trata de un sistema de transporte de autobús que dispone de plataforma independiente o categoría A. El BRT tiene generalmente unas necesidades de espacio inferiores a las de un sistema de transporte ferroviario equivalente y además se emplean autobuses que utilizan combustibles relativamente "limpios". Según Hensher (2007) las tecnologías empleadas en este tipo de sistemas basados en el autobús no son tan influyentes en el éxito de los mismos, siendo el camino a seguir la identificación de sistemas que proporcionen una capacidad suficiente con un elevado nivel de servicio a través de una red interconectada, una buena frecuencia del servicio y la visibilidad del mismo, entendiendo como tal la existencia de medios físicos que indiquen la presencia del servicio de transporte, desde dónde viene y hacia dónde va.

El autobús de alto nivel de servicio (BHLS) europeo nace inspirándose en el BRT americano aunque posee ciertas características que lo diferencian claramente de este último. Estas diferencias son debidas en su mayor parte a las necesidades que debe cubrir cada uno de los sistemas de transporte en sus respectivos contextos de desarrollo (Heddebaut, Finn, Rabuel & Rambaud, 2010). Mientras que en las grandes ciudades americanas el BRT debe trasladar al centro a un gran número de trabajadores que provienen de orígenes dispersos y a menudo muy lejanos, el modelo

Europeo se caracteriza por la existencia de ciudades con mayor densidad de población, de calles estrechas y que combinan actividades laborales, de ocio y residenciales. Esto influye en la organización del transporte público, que se beneficia de esta concentración de flujos. Otra característica del contexto europeo es la mala imagen históricamente asociada a los sistemas basados en el autobús, debido principalmente a que en algunas ciudades se reimplantaron antiguos sistemas tranviarios dotándolos de una imagen mejorada, altas prestaciones de servicio y una mejor integración en la red de transporte. Este hecho perjudicó a la imagen de los sistemas de autobús percibida por los usuarios, al ser comparados con los nuevos sistemas ferroviarios con los que convivían.

Por tanto, el concepto de BHLS nace inicialmente en Europa para cubrir el espectro existente entre el concepto de autobús entendido de forma tradicional o convencional y el LRT, en términos de prestaciones, costes y capacidad. Con un sistema de BHLS pueden lograrse las mismas frecuencias, amplitud horaria, velocidad comercial y regularidad que con el LRT, aunque en algunos documentos consultados se sigue considerando que este último es superior en características relacionadas con el confort (circulación sobre carriles y más espacio para asientos), la accesibilidad (el guiado automático posibilita unas menores distancias al andén en acceso/salida) y la imagen/identificación del sistema (CERTU, 2009, p.6).

Sin embargo, la definición de BHLS que puede verse en el informe final de la *European Cooperation in Science and Technology* (COST nº TU0603) dedicada a esta tipología de transporte público, indica que estas diferencias pueden no existir siempre y cuando el sistema esté bien concebido:

The Bus with High Level of Service is a bus-based system, clearly identified, that is an element of the primary public transport network. It offers to the passenger a very good performance and comfort level, as a rail-based system, from terminus to terminus at station, into vehicle and during the trip. The "system" approach across infrastructure, vehicles and operating tools have coherent and permanent objectives in accordance with the mobility network and city context. (Finn, B., Heddebaut, O., Kerkhof, A., Rambaud, F., Sbert-Lozano, O. & Soulas, C., 2012, p. 20)

El principal objetivo que se persigue con el grueso de las actuaciones destinadas a implantar un sistema de BHLS es mejorar la calidad del sistema transporte, y la

capacidad no es intrínsecamente un factor de esta calidad. Es precisamente la capacidad del sistema el único factor del BHLS que no puede equipararse al del LRT en la mayor parte de los casos.

También se destaca en este informe que en la implantación de un BHLS debe cuidarse especialmente el valor de 3 indicadores fundamentales: la puntualidad (o regularidad/fiabilidad del sistema), la frecuencia y la velocidad del servicio. Para lograr unas buenas prestaciones en estos factores es imprescindible actuar sobre la infraestructura con el objetivo de disponer de una plataforma reservada, que esté diseñada y equipada apropiadamente, o lo que es lo mismo, al menos debe disponerse de un uso de infraestructura con categoría B.



Fig. 2.2. Ejemplo de plataforma reservada para un sistema BHLS: Busway-Nantes (Fuente: Finn et al., 2012, p. 134)

Otro de los aspectos que se destacan como importantes en la concepción del BHLS es la imagen percibida del sistema de transporte por parte del usuario. En todos los casos analizados en Finn et al. (2012), los sistemas tenían una clara identificación y en la mayor parte de los casos una imagen de marca diferenciadora, así como una flota de vehículos dedicada en exclusiva. Esto pone de manifiesto que el marketing en torno al BHLS es otra característica muy importante para un correcto desarrollo del mismo (Heddebaut et al., 2010).

Se definen a continuación los términos que aluden a los sistemas de autobús, y que serán empleados a lo largo de la tesis:

- De forma general se hablará de AUTOBÚS o *bus-based* (ya sea modo, alternativa, sistema de transporte, etc.) para hacer referencia a aquellos transportes públicos colectivos en los que se utiliza un vehículo de tipo autobús.
- A la hora de realizar las comparaciones necesarias para evaluar la existencia del *rail factor*, se hablará de 3 tipos de sistemas de transporte basados en el autobús:
 - Autobús de alto nivel de servicio (BHLS): se trata de un sistema de transporte basado en el autobús que tiene las características indicadas por Finn et al. (2012, p.20), ya citadas anteriormente en este apartado. Entre estas características destacan las siguientes: se ofrecen unos valores de frecuencia relativamente altos, en un servicio con gran fiabilidad y valores elevados de la velocidad de operación. Para que esto sea posible la mayor parte de su recorrido tiene lugar en una infraestructura con un uso de plataforma de categoría B. Además, existen ciertos factores especialmente cuidados para potenciar la imagen de este sistema, tales como la información suministrada, comodidad, accesibilidad, integración con el resto de la red de transporte, visibilidad como marca diferenciada, etc.
 - Autobús convencional: se trata de un sistema basado en el autobús que discurre en una infraestructura con un uso de plataforma de categoría C. Además suele presentar otras características que lo diferencian del BHLS, como la menor cantidad de información suministrada a los usuarios o la falta de una imagen de marca que lo caracterice frente al resto de sistemas.
 - Autobús mejorado: se trata de un sistema basado en el autobús cuyas características principales toman valores intermedios entre los de los sistemas anteriores. La característica más significativa que lo diferencia del BHLS es que una proporción significativa de su recorrido discurre en plataforma categoría C, lo que condiciona la explotación del sistema disminuyendo la calidad del servicio ofrecido.

De nuevo, la categoría que corresponderá al atributo tipo de transporte público en cada uno de los sistemas anteriores será la siguiente: al BHLS le corresponde el nivel A, al autobús mejorado el nivel B y el autobús convencional tendrá asociado un nivel C de esta variable.

Para terminar, se muestra en la tabla 2.2. un resumen de la nomenclatura empleada a la hora de denominar los diferentes sistemas de transporte, ya sean ferroviarios o de autobús, a lo largo de esta tesis.

Atributo tipo de transporte público*	Transporte Ferroviario	Autobús	Categoría de uso de Infraestructura**
Nivel o Categoría A	Metro ligero (LRT)	Autobús de alto nivel de servicio (BHLS)	ROW category B
Nivel o Categoría B	Tranvía mejorado	Autobús mejorado	ROW category C and B
Nivel o Categoría C	Tranvía convencional	Autobús convencional	ROW category C

Denominación general (texto)	Sistema ferroviario	Sistema de autobús
Denominación general (tablas)	Rail-based (A, B o C)	Bus-based (A, B o C)

Tabla 2.2. Denominación de los diferentes sistemas de transporte público analizados

*Atributo definido en el capítulo siguiente

**Vuchic (2007)

2.5. Enfoques empleados para evaluar la captación de viajeros

En este apartado se presentan los diferentes métodos empleados para analizar la capacidad de captación de viajeros en sistemas de transporte público, y su adaptación al análisis de la existencia del *rail factor*.

Existen 3 tipos de enfoques que se diferencian en las fuentes de información que se consideran en cada caso, en las metodologías de investigación empleadas, así como en los resultados, conclusiones y actuaciones posteriores que se pueden realizarse mediante cada uno de ellos. Estos enfoques son los siguientes:

- Comparativa de datos tomados antes y después de la implantación de un nuevo sistema de transporte o mejora de un servicio existente.
- Estudios basados en la modelización de la demanda: se realizan estimaciones de modelos basados en encuestas a los usuarios. Pueden utilizarse datos de preferencias reveladas (PR), preferencias declaradas (PD) o utilizar conjuntamente datos de PR y de PD.
- Estudios de percepción basados en la evaluación de factores relacionados con el comportamiento y la psicología humana: tienen como objetivo analizar la influencia de este tipo de atributos en la elección de modo de transporte público que realizan los usuarios de la red.

2.5.1. Estudios antes-después

Tal y como su propio nombre indica los estudios antes-después consisten en una comparación directa entre la situación en la que se encontraba una red o sistema de transporte antes de realizar una implantación o mejora del mismo, y la situación posterior a esta actuación. La principal fuente de información empleada en este tipo de estudios se compone básicamente de datos de ocupación y valores de las variables de nivel de servicio de los sistemas de transporte. Estos datos pueden considerarse por sí mismos una radiografía bastante fiel del estado del sistema.

O'Mahony (2002) realiza un estudio de este tipo en el que se analiza la influencia de los cambios producidos tras la implantación de un nuevo sistema de autobuses en Dublín (*Quality Bus Corridor*, QBC). Con un sistema que tiene características similares a las del BHLS (en este caso plataforma reservada en gran parte del recorrido, mayor frecuencia y cierto grado de prioridad sobre el resto de usuarios de la red), se han observado mejoras significativas en el número de viajeros, los tiempos de viaje y la fiabilidad en la frecuencia del servicio tras su implantación.

La información analizada mediante estudios de este tipo no está afectada por los sesgos característicos de los datos recopilados mediante encuestas a los usuarios, que son debidos a las diferencias en la percepción de los medios de transporte por parte de cada usuario y que dependen de las características socioeconómicas de los mismos (Bhat, 2000). Sin embargo, para identificar los factores que influyen en el comportamiento de estos deben realizarse una serie de encuestas. Preguntas tales como ¿cuál es el motivo de que aumente el número de viajeros en el caso anterior?, o bien ¿aumentaría de forma similar o diferente en el caso de que se hubiese implantado un LRT?, solamente pueden responderse a través de preguntas directas a los usuarios de los sistemas de transporte implicados. Generalmente se trata de encuestas a bordo del sistema de transporte estudiado, en las que se recopilan datos de carácter socioeconómico, características del desplazamiento, disponibilidad de alternativas, etc. También pueden solicitarse opiniones o valoraciones de los cambios percibidos en el sistema transporte tras la implantación (o mejora del anterior).

Estas encuestas de apoyo al estudio son de gran importancia, ya que la implantación de un nuevo sistema de transporte suele traer consigo cambios en otros elementos del servicio (nuevas paradas, frecuencias, nuevas rutas, etc.). Cuando se realizan fuertes

inversiones para implantar un transporte público con plataforma reservada también suelen producirse cambios sociodemográficos y en las actividades de la zona, relacionados todos ellos con los usos del suelo. Por lo tanto, en estos casos es posible que la influencia en el cambio observado en el comportamiento de los usuarios de la red provenga de fuentes diferentes, las cuales serían difícilmente identificables sin este tipo de instrumentos.

Wall y McDonald (2007) emplean encuestas como complemento a un estudio antes-después de la implantación de un QBC realizado en la ciudad de Winchester. Además de señalar el efecto positivo de las mejoras en la frecuencia del servicio, advierten la existencia de otros factores que influyen positivamente en la captación de viajeros, como la introducción de vehículos más modernos y eficientes, las políticas de aparcamiento seguidas en el centro de la ciudad frente al uso de aparcamientos disuasorios (*Park and Ride*, P+R), la apertura de nuevas líneas que dotan al sistema de una mayor cobertura, etc. También destacan la importancia de una buena campaña de marketing y de la ampliación de la información ofrecida a los viajeros, como instrumentos para mejorar la imagen del sistema de transporte.

El principal inconveniente de los estudios antes-después es que se realizan tras la implantación o mejora del sistema, por lo que resulta más difícil y costoso llevar a cabo actuaciones de gran calado una vez se han obtenido los resultados de los mismos. Por este motivo los estudios antes-después han sido generalmente empleados con un propósito diferente al de evaluar la preferencia entre los modos de transporte de las situaciones inicial y posterior, centrándose en los cambios que se producen en ciertas variables tras la implantación de un nuevo sistema de transporte. Algunos ejemplos destacables de variables cuyos efectos resultan difícilmente medibles son las siguientes: cambios en la seguridad frente a accidentes de los vehículos pertenecientes a un nuevo sistema de transporte (Tse, Hung & Sumalee, 2014), cambios producidos en la seguridad ciudadana debidos a la implantación de nuevas estaciones (Tay, Azad, Wirasinghe & Hasen, 2013), o los cambios en la accesibilidad al mercado laboral (Fan, Guthrie & Levinson, 2012).

2.5.2. Estudios basados en la modelización de la demanda

Las encuestas basadas en la elección de una alternativa de transporte en diferentes situaciones hipotéticas, o encuestas de elección de preferencias declaradas (PD), son

uno de los medios más empleados para obtener datos que permitan la modelización de la demanda futura de un sistema que no existe en la actualidad, en lo que a las investigaciones científicas relacionadas con la ingeniería de transporte se refiere (Hensher, 1994). Generalmente, pueden aprovecharse estas encuestas para captar además información relacionada con el encuestado (datos socioeconómicos) o con la forma en la que realiza sus viajes en el momento en el que realiza la encuesta (elección actual realizada), en cuyo caso se obtienen también datos de preferencias reveladas (PR). Los estudios basados en experimentos de elección que recopilan información de estas tipologías, ya sean datos PR o PD empleados de forma independiente o conjunta, han sido ampliamente utilizados en investigaciones científicas del ámbito del transporte. Puede consultarse el apartado 3.2. del próximo capítulo para obtener información detallada acerca de las principales características de estas tipologías de datos.

En líneas generales los modelos mencionados en este apartado se han centrado especialmente en la influencia sobre la elección de modo de ciertas variables tradicionalmente consideradas como determinantes (*hard factors*), como por ejemplo el tiempo de viaje, el coste, el número de transbordos, etc.

Ben-Akiva y Morikawa (2002) emplean modelos con datos PR y datos PD (de forma independiente y conjunta) para estudiar este fenómeno. Señalan la importancia de variables como la fiabilidad en los horarios, la información suministrada y la seguridad, mientras que los efectos debidos a otras variables no especificadas se engloban en atributos específicos para cada alternativa. Se realizan además modelos para diferentes segmentos de mercado, aplicando los resultados sobre varios escenarios con valores diferentes de los atributos que caracterizan un viaje hipotético en cada uno de ellos. Los autores concluyen que no se puede confirmar la existencia de una preferencia hacia los modos ferroviarios (en este caso el metro y el ferrocarril de cercanías) sobre el resto de modos de transporte público. Jou, Hensher, Liu y Chiu (2010) realizan un estudio en el que incluyen la alternativa coche como disponible en un experimento con datos PD realizado en el ámbito metropolitano de la ciudad de Taipéi, junto con el autobús y el MRT (*Mass Rapid Transit*). En este caso sí observan una preferencia hacia el sistema ferroviario frente al sistema de autobús, la cual puede estar motivada por las experiencias previas de los usuarios con los distintos modos de transporte por los que se les pregunta.

En Axhausen et al. (2001) se maximiza la información obtenida realizando 2 tipos de estimaciones: modelizaciones con datos PD de forma independiente y modelizaciones con datos PR y PD de forma conjunta. Además se realizan 2 experimentos de elección, el primero de ellos entre la alternativa coche y el transporte público, mientras que en el segundo se consideran un SCI ferroviario y un autobús como las únicas alternativas disponibles. Las conclusiones que se extraen del segundo experimento apuntan a la existencia de una preferencia hacia el SCI ferroviario frente al autobús, aunque no se manifiesta de forma muy marcada. Esta preferencia se hace más evidente en los usuarios habituales del transporte público, dato que se obtiene mediante el análisis de los diferentes segmentos de mercado a través de la interpretación de una variable de inercia considerada en el estudio.

Tim Bunschoten (2012) emplea diferentes tipos de modelos de la familia logit en un análisis comparativo realizado en distintas ciudades holandesas. Los resultados obtenidos en estas ciudades se traducen en un porcentaje de captación de viajeros adicional debido al *rail factor*. Como principal conclusión destaca la existencia de una preferencia por los modos ferroviarios que parece ocurrir cuando existe conocimiento de ambos sistemas por parte de los usuarios y que además depende de la ubicación considerada. La información suministrada, las características del viaje y la elección de alternativa en el viaje PR también parecen ser condicionantes en la elección de una de las alternativas de transporte público.

Merece la pena destacar algunos estudios de este tipo que han nacido con el objetivo de obtener índices de calidad en el servicio (*Service Quality Index*, SQI), y que se han propuesto en ocasiones como indicadores de calidad exigibles a los operadores del transporte público (Hensher, Stopher & Bullock, 2003; Eboli & Mazzulla, 2008; Dell'Ollio, Ibeas & Cecín, 2011a). En estos casos, además del tiempo y el coste también se han considerado como variables influyentes en la calidad del servicio algunos atributos que no se estudian habitualmente como la limpieza en el vehículo, seguridad percibida en la parada, actitud de los conductores, etc.

El principal inconveniente de los estudios basados en la modelización de la demanda es que dependen en gran medida de los atributos elegidos por el analista, por lo que puede confundirse la capacidad explicativa del experimento con los efectos de algún atributo planteado de forma errónea, y del mismo modo pueden no considerarse atributos que realmente influyen en la elección de modo o en la percepción del usuario y obtener conclusiones basadas en una fuente de información incompleta.

2.5.3. Estudios basados en la psicología humana como condicionante de la percepción de los usuarios

Este tipo de estudios se centra en el análisis de la percepción de los viajeros como método para determinar la existencia del *rail factor*. Puesto que este factor supone una mayor capacidad de captación de viajeros asociada a los sistemas ferroviarios en comparación con sistemas de autobús, aún en el caso de que los valores de nivel de servicio de ambos sistemas sean idénticos, es razonable pensar que existe una serie de variables cuya influencia sobre la elección de modo no es fácilmente medible, o bien que no se estaban considerando estos efectos de forma adecuada en el análisis hasta que se comenzaron a desarrollar este tipo de estudios.

En el presente apartado se hace una breve exposición de métodos o enfoques que no se han utilizado tradicionalmente en la evaluación de la demanda potencial del transporte público, como un medio para explorar la existencia del *rail factor* y conocer ciertas variables psicológicas que podrían tener influencia en este fenómeno.

2.5.3.1. Entrevistas en profundidad

Este método consiste en recopilar información mediante preguntas directas a los usuarios acerca de sus hábitos y percepciones a la hora de desplazarse. Las preguntas pueden ser o bien abiertas, en las que el usuario puede responder lo que considere oportuno y que por tanto aportan gran cantidad de información cualitativa; o pueden ser preguntas cerradas o categorizadas, con las que se consiguen datos de forma efectiva aunque se corre el riesgo de que las categorías seleccionadas no reflejen la realidad estudiada.

Puede resultar de gran interés realizar entrevistas en profundidad como una fase inicial en cualquier estudio de modelización de la demanda, especialmente si no existen demasiadas investigaciones previas con el mismo objeto de estudio, o si estas existen pero ofrecen resultados contradictorios.

Beirão y Sarsfield (2007) concluyen con este método que los usuarios habituales de coche prefieren un sistema ferroviario a un sistema de autobús, y que valoran además atributos intangibles como el status y el entorno en el que se realiza el viaje, por lo que una mejora en la imagen del transporte público podría atraer a usuarios potenciales.

Sin embargo, parece que lo que más valoran los usuarios que utilizan habitualmente el transporte público es que el servicio ofrecido presente cierta calidad en lo que a valores de nivel de servicio se refiere (tiempo de viaje, costes, frecuencia, etc.). Esto se traduce en que la capacidad de atracción de ambos sistemas de transporte público es similar para este último colectivo.

2.5.3.2. Estudio individual en profundidad

Con un estudio individual en profundidad pueden conocerse detalles cualitativos relacionados con el proceso cognitivo de un solo individuo. El proceso de selección del individuo se conoce con el nombre de muestreo por propósito. Obviamente el individuo seleccionado debe poseer unas características particulares por las que se ajusta a los objetivos del estudio realizado.

Dziekan (2007) realiza un estudio en profundidad de un estudiante de intercambio durante sus 10 primeras semanas en una nueva ciudad, realizando entrevistas, cuestionarios y tareas de reconocimiento de ruta. El objetivo de elegir a este sujeto es evitar que un posible conocimiento previo del sistema influya en la percepción que tiene sobre los distintos modos de transporte disponibles para sus desplazamientos.

Aunque no pueden extraerse resultados aplicables a todos los individuos no familiarizados con los sistemas de transporte público (ni siquiera son generalizables para los recién llegados a la ciudad), se recopiló información general asociada a los procesos de aprendizaje y preferencias a la hora de desplazarse en un sistema de transporte público no conocido a priori. La mayor parte de los problemas a la hora de utilizar el transporte público se encontraron en variables relacionadas con la visibilidad de las paradas, la información suministrada y la orientación en las estaciones.

2.5.3.3. Enfoque basado en esquemas

Se trata de otro enfoque de tipo cualitativo basado en la idea de que las variables asociadas al transporte público no son constantes a lo largo de las localizaciones, el tiempo y que además son diferentes en función el tipo de usuario considerado. Los esquemas son paquetes organizados de información sobre el mundo, acontecimientos o personas, que están almacenados en la memoria a largo plazo. Estos pueden considerarse abreviaciones y recursos cognitivos que hacen que nuestra vida sea más sencilla, puesto que no es necesario valorar en profundidad una y otra vez todas las

decisiones relacionadas con hechos cotidianos de la vida diaria. Sin embargo esto también implica que es más difícil que se produzcan cambios inducidos en el comportamiento basado en estos esquemas.

Estos paquetes de información están formados a su vez por estructuras de conocimiento, las cuales se definen como conocimientos relacionados con algunos aspectos del mundo (por ejemplo, el autobús), que contienen una proporción de información fija (en el ejemplo, es un transporte público colectivo que se desplaza sobre neumáticos) y una serie de espacios para la información variable (en el ejemplo, características del nivel de servicio). Para recopilar la información relacionada con estas estructuras de conocimiento pueden emplearse entrevistas o cuestionarios en los que se planteen preguntas de tipo abierto o semi-abierto. Este enfoque sirve como base de discusión de los atributos positivos y negativos que influyen en el comportamiento del viajero.

Scherer y Dziekan (2012) realizan un análisis sobre la información recopilada en 2 ubicaciones y contextos temporales diferentes (Alemania y Suiza en los años 2000 y 2009, respectivamente). En ambos casos el objetivo era el estudio del fenómeno *rail factor*.

En el estudio alemán se realiza una entrevista en la que se presenta a los usuarios una situación hipotética en la que un autobús y un ferrocarril de cercanías son los modos de transporte disponibles para un viaje tipo, siendo todas las características del nivel de servicio iguales para ambos. Se solicita la elección además de las razones por las que se toma esta decisión, y los resultados obtenidos sirven como base para la generación de un cuestionario empleado en el estudio posterior, en el que se comparan las alternativas de transporte BHLS y LRT en un entorno metropolitano.

En ambos casos se realiza un análisis de contenido y se observa una preferencia significativa a favor del modo ferroviario correspondiente respecto al autobús. Los motivos declarados por los usuarios muestran una proporción elevada de factores emocionales y sociales, mayor que la relacionada con el conjunto de atributos racionales. Por lo tanto, en este caso atributos tales como el hábito, aspectos emocionales/afectivos o el atractivo son los que han mostrado una influencia mayor en la preferencia por el modo de transporte ferroviario correspondiente.

2.5.3.4. Diferenciación semántica

Se trata de un método que permite conocer la imagen que tiene un sujeto sobre cualquier concepto. La mayor ventaja de la diferenciación semántica es que proporciona una rápida visión global del conjunto de los juicios o valoraciones de los encuestados. Este proceso se realiza con la ayuda de una escala numérica en la que se enfrentan adjetivos bipolares ubicados en los valores extremos de la escala.

Scherer (2011) realiza un estudio en 3 ciudades suizas en el que se emplea una escala Likert con 5 puntos, adaptando los atributos y adjetivos relacionados al *rail factor*. En primer lugar realiza un análisis de las valoraciones obtenidas por las alternativas correspondientes a un sistema de autobús y a un sistema ferroviario, para las que consideran atributos racionales y emocionales. Las valoraciones medias de la alternativa ferroviaria superaron a las del autobús en 18 atributos, mientras que solamente en 3 de ellos el autobús fue mejor valorado. Las mayores diferencias se dieron en los atributos situación del tráfico, confort de marcha, conciencia medioambiental y atractivo.

Un 12% de los encuestados percibe una imagen más positiva del sistema ferroviario. Un análisis posterior muestra que esta preferencia varía en función del tipo de usuarios considerado: mientras que los usuarios frecuentes de transporte público valoran mejor al modo ferroviario en la mayoría de los atributos, en los encuestados que no emplean transporte público las diferencias entre las valoraciones de ambos sistemas de transporte son menores.

En la tabla 2.3. se muestran los atributos considerados en el citado estudio, diferenciando entre atributos racionales y emocionales. Puede apreciarse por la dimensión de la misma que con este método es posible considerar una gran cantidad de variables para determinar su importancia de forma independiente.

Atributos Influyentes	Tipo	Adjetivo positivo	Adjetivo negativo
Localización de paradas	Racional	Favorable	Desfavorable
Comodidad por la conducción	Racional	Conducción suave	Conducción mala
Frecuencia	Racional	Alta	Baja
Rutas de líneas	Racional	Directas	Indirectas
Situación del tráfico	Racional	Tráfico fluido	Retenciones
Fiabilidad de horarios	Racional	Fiable	No fiable
Seguridad frente a accidentes	Racional	Seguro	Riesgo de accidentes
Conciencia medioambiental	Racional	Respetuoso	No respetuoso
Ruidos	Racional	Silencioso	Ruidoso
Diseño de la red	Racional	Claro	Confuso
Accesibilidad	Racional	Fácil	Difícil
Ocupación del vehículo	Racional	Vacío	Lleno
Espacio en el vehículo	Racional	Espacioso	Reducido
Facilidad de uso	Emocional	Fácil de usar	Difícil de usar
Edad del vehículo	Emocional	Nuevo	Viejo
Apariencia del vehículo	Emocional	Moderna	Antigua
Peligrosidad	Emocional	Inofensivo	Peligroso
Conveniencia	Emocional	Conveniente	No conveniente
Atractivo	Emocional	Atractivo	No atractivo
Valor	Emocional	Valioso	No valioso
Importancia	Emocional	Importante	No importante

Tabla 2.3. Ejemplo de atributos racionales y emocionales para evaluar el *rail factor* (Fuente: Elaboración propia a partir de Scherer, 2011)

2.5.3.5. Análisis factorial

Hasta el momento se han considerado métodos con los que se han obtenido una serie de variables influyentes en la percepción, o bien estas han sido impuestas por el analista. En cualquier caso el número de variables influyentes ha sido generalmente elevado debido a la naturaleza intangible de la preferencia ferroviaria asociada al fenómeno *rail factor*.

El análisis factorial permite relacionar una o varias variables influyentes con un solo factor que represente por sí mismo el efecto de las anteriores. Se trata de un modelo de regresión múltiple mediante el que se explican los datos a través de la covarianza de las variables consideradas. Con esta metodología se consigue así simplificar el análisis.

Stradling, Carreno, Rye y Noble (2007) presentan un caso que supone un buen ejemplo de simplificación de un escenario en el que se obtuvieron un elevado número de variables explicativas para el fenómeno estudiado. Tras realizar una campaña de encuestas en profundidad se consideraron 68 atributos relacionados con la percepción de los usuarios acerca de la calidad de un servicio de autobús en Edimburgo. Posteriormente se emplea un análisis factorial que reduce este número a solamente 8

nuevos factores que explican en gran medida la variabilidad de los datos. Estos factores fueron los siguientes: prestación del servicio, sobresaltos no deseados, seguridad, grado de preferencia por el coche, coste, imagen proyectada al viajar en transporte público, capacidad de realizar viajes cortos mediante medios no motorizados y comodidad/adaptación a viajeros de movilidad reducida.

Scherer (2011) realiza un análisis factorial sobre los 22 atributos inicialmente considerados (tabla 2.3.). Este número se redujo a los 5 factores siguientes:

- Aspectos emocionales relacionados con el uso del transporte.
- Aspectos racionales relacionados con el vehículo.
- Características racionales del servicio.
- Impactos del transporte en el resto de los usuarios de la red.
- Impactos en los usuarios en ruta.

Con la solución encontrada se obtuvo una proporción explicativa de un 55% de la varianza de los juicios realizados entre el autobús y el modo ferroviario, aunque para este último los aspectos racionales relacionados con el vehículo y los emocionales/afectivos obtuvieron una proporción explicativa en la varianza ligeramente mayor que los obtenidos para el caso del autobús. Esto se interpretó como otro indicio de la posible existencia del *rail factor*.

2.6. Resumen de conclusiones de la literatura

En vista de los estudios consultados en la literatura queda claro que la percepción de un mayor atractivo a la hora de captar viajeros por parte de un sistema ferroviario sobre un sistema de autobús es un tema que genera controversia.

Los estudios antes-después presentan la ventaja de no estar afectados por los sesgos característicos de las encuestas. Sin embargo, mediante estos estudios no es posible identificar muchas de las variables de nivel de servicio influyentes, ni tampoco identificar las variables de percepción relacionadas con la psicología de los viajeros implicados. Además, dada la naturaleza de este tipo de estudios rara vez se han empleado en la evaluación directa del *rail factor*. Esto es debido a que cuando se sustituye una línea de autobús convencional (o mejorado) por una de LRT es difícil asegurar que la preferencia por este último es fruto exclusivamente del tipo de sistema de transporte en sí mismo, ya que la nueva implantación lleva consigo una serie de

cambios en el las variables características del servicio (Bunschoten, 2012), así como en los condicionantes externos al resto de modos. Otro de los inconvenientes de los estudios antes-después es que se realizan a posteriori de la implantación, por lo que resulta más difícil y costoso realizar actuaciones de gran calado una vez se han obtenido los resultados del mismo.

En cuanto a los estudios basados en la modelización de la demanda, estos presentan entre sus ventajas el que permiten la obtención de predicciones de las cuotas de mercado de forma previa a la mejora o implantación real de un nuevo sistema de transporte público. Como posible inconveniente destaca que la elección de las variables involucradas depende por completo de los analistas, que se han centrado históricamente en la influencia de una serie limitada de atributos empleados tradicionalmente en la modelización de la demanda (*hard factors*). Además, los datos recopilados en este caso sí presentan los sesgos característicos de las encuestas y tampoco permiten identificar por sí mismos las variables psicológicas influyentes en la percepción de la imagen del transporte público por parte de los usuarios. Tal y como se ha visto en la literatura, esta tipología de estudios se basa en la interpretación de variables específicas para cada alternativa (entre las que se incluyen variables de inercia) a la hora de comprobar si existen diferencias en la percepción de los distintos sistemas de transporte.

Con este enfoque se han mostrado diferentes conclusiones en función del estudio considerado, si bien es cierto que el planteamiento elegido para el experimento también tiene mucha importancia en los resultados obtenidos: por ejemplo, en Ben-Akiva y Morikawa (2002) y en Jou et al. (2010) se realizaron comparaciones entre alternativas pertenecientes a sistemas con diferente capacidad (metro y ferrocarril de cercanías, o el MRT son sistemas de alta capacidad), cuando por sus características de nivel de servicio no parece aconsejable la comparación directa con otros SCI en el análisis de la existencia del *rail factor*. Además, aunque se perciba una preferencia hacia uno u otro modo, la identificación de las causas que generan este fenómeno no es directa. Por este motivo los analistas deben ser especialmente cuidadosos al elegir las variables influyentes y los modelos empleados en la estimación cuando se estudia la existencia del *rail factor* con estos métodos.

Por último, los nuevos enfoques basados en procedimientos relacionados con aspectos psicológicos de los individuos suponen una alternativa que permite, por una parte, identificar las principales variables que influyen en la imagen del transporte

público percibida por los usuarios, y por otra, realizar un análisis descriptivo de los resultados obtenidos como medio para determinar la existencia del *rail factor*. El hecho de emplear gran cantidad de información cualitativa aporta un mayor grado de conocimiento del fenómeno en cada caso concreto. Esto hace posible la adopción de medidas particulares que pueden ayudar a transferir al autobús las características que hacen que los sistemas ferroviarios sean considerados como más atractivos. El principal inconveniente de este tipo de enfoques es que no puede realizarse directamente una predicción de la ocupación futura en el sistema de transporte. Además, se puede caer en el mismo error que con el enfoque basado en la modelización de la demanda en cuanto a la naturaleza de los atributos considerados. Es decir, considerar solamente los *hard factors* como influyentes en la elección de modo podría resultar igual de perjudicial que el hecho de no considerar ninguno de ellos, dejando toda la capacidad explicativa en manos de variables de tipo psicológico.

Los resultados obtenidos mediante este último enfoque también difieren entre sí en algunas fuentes consultadas. Por ejemplo, Beirão y Sarsfield (2007) obtienen resultados opuestos a los presentados por Scherer (2011) si se considera la experiencia previa de los usuarios de la red de transporte (usuarios habituales del transporte público frente a usuarios habituales de vehículo privado). Estas diferencias pueden ser debidas a los distintos contextos de cada caso (ciudad de estudio, sistemas de transporte presentes, etc.). Además, las experiencias previas que han tenido los usuarios con los distintos modos sobre los que se les pregunta en la encuesta influyen indudablemente en sus respuestas, y estas experiencias previas se ven afectadas a su vez por la ciudad en la que residen y los sistemas presentes en ella.

Por tanto, analizar los aspectos psicológicos es una cuestión compleja y depende en gran medida del contexto de estudio. Además, existen algunas actuaciones que pueden favorecer la imagen de un sistema de transporte público independiente de que sea un LRT o un BHLS (por ejemplo, la iluminación en las paradas puede mejorar la sensación de seguridad, al igual que la presencia de un conductor en líneas nocturnas). Algunos ejemplos de atributos de este tipo que se han mostrado influyentes en las investigaciones consultadas son el hábito, aspectos emocionales/afectivos y el atractivo.

En la tabla 2.4. se muestran las principales características y conclusiones de los estudios relacionados con el *rail factor* que han sido localizados en la literatura.

Autor / es	Año	Tipo estudio	Preferencia	Destacable
Ben-Akiva & Morikawa	2002	Modelización demanda	Inexistente	No existe <i>rail factor</i> Comparación de sistemas de distinta capacidad
Jou et al.	2010	Modelización demanda	Ferroviano	Existe <i>rail factor</i> para <i>commuters</i> Comparación de sistemas de distinta capacidad
Axhausen et al.	2001	Modelización demanda	Ferroviano	Existe <i>rail factor</i> no muy marcado en general Existencia más clara en usuarios habituales de transporte público
Bunschoten	2012	Modelización demanda	Ferroviano	Existe un <i>rail factor</i> aunque presenta una elevada variabilidad en cuanto a su magnitud (6% de diferencia media en cuota de mercado)
Beirão & Sarsfield	2007	Variables psicológicas	Depende	Existe <i>rail factor</i> para usuarios de coche No existe <i>rail factor</i> para usuarios de transporte público
Scherer	2011	Variables psicológicas	Depende	Existe <i>rail factor</i> para usuarios de transporte público No existe <i>rail factor</i> para usuarios de coche En general, 12 % de encuestados con imagen percibida superior para el ferroviano
Scherer & Dziekan	2012	Variables psicológicas	Ferroviano	Existe <i>rail factor</i> función del hábito, aspectos emocionales/afectivos y el atractivo del sistema

Tabla 2.4. Resumen de conclusiones en la literatura consultada

Finalmente, la literatura consultada indica que los atributos psicológicos y racionales más influyentes en la percepción de los sistemas ferroviarios como superiores a los sistemas de autobús son los relacionados con los siguientes factores:

- La plataforma reservada: implica menores tiempos de viaje independientemente del modo, además de una mayor fiabilidad en la frecuencia y seguridad frente a accidentes.
- La tracción eléctrica: es percibida como un plus de respeto por el medio ambiente.
- El guiado material: como influyente en la mejor accesibilidad y comodidad a bordo.
- La facilidad de uso: dispositivos de información en tiempo real en vehículos y paradas, identificación de la línea, una frecuencia tal que no es necesario conocer los horarios, etc., son factores que mejoran la imagen del sistema.

Los anteriores aspectos son transferibles a un sistema de BHLS, por lo que a priori no existe razón para pensar que este no va a resultar una alternativa atractiva cuando la demanda lo permita.

2.7. Metodología empleada en la investigación

En lo relativo a la metodología empleada en la presente investigación, la mejor opción para estudiar la existencia del *rail factor* es proceder mediante un estudio integral que combine la mayor parte de los aspectos presentados en este capítulo. La cuestión de la transferibilidad es también un asunto complejo en este campo, por lo que deben realizarse un mayor número de estudios en distintas ubicaciones, y con estos podrían aflorar características comunes en la percepción de los viajeros no determinadas hasta la fecha.

Teóricamente, siempre que los recursos disponibles sean suficientes debería considerarse la posibilidad de realizar entrevistas en profundidad en ciudades de tamaño intermedio; estudios de diferenciación semántica y análisis factorial para determinar los factores racionales/emocionales más influyentes y encuestas de elección/jerarquización con datos de PD y PR que combinen estas variables con otros atributos tradicionalmente considerados como influyentes en la elección de modo de transporte. Este procedimiento resultaría más esclarecedor si puede realizarse de forma previa y posterior a la implantación de un nuevo sistema de transporte, además de posibilitar la comparación entre las diferentes expectativas generadas de forma previa a la implantación, y las realmente conseguidas tras ella.

En la práctica, la metodología finalmente empleada en la presente investigación puede resumirse en los puntos siguientes:

- Está basada en la estimación de modelos de demanda de transporte.
- Se emplean datos de elección PD puesto que son los más adecuados para analizar las repercusiones que tendrá la implantación de un sistema de transporte que no existe en la actualidad, y además permiten realizar este análisis de forma previa a una implantación o mejora (Hensher, 1994).
- Para evitar en la medida de lo posible las limitaciones citadas en el apartado 2.6. sobre los enfoques basados en la modelización de la demanda, las variables empleadas son de 2 tipos: por un lado, las tradicionalmente empleadas para representar el nivel de servicio de los modos de transporte (*hard factors*), y por otro, las variables influyentes en la percepción de los usuarios respecto a la imagen que proyectan los sistemas de transporte público. La identificación de todos los atributos está basada en la literatura consultada. Adicionalmente, para identificar cuáles son las variables que mejor

representan la imagen del transporte público, se emplean entrevistas en profundidad realizadas a los usuarios objeto de estudio mediante un grupo de discusión o grupo focal. También se emplea un enfoque basado en esquemas mediante un cuestionario formado por preguntas cerradas, abiertas y semi-abiertas, acompañado de un ejercicio de elección entre alternativas no etiquetadas que a priori presentan las mismas prestaciones.

- Además, se considerarán algunas variables socioeconómicas y variables obtenidas a partir de datos del desplazamiento PR en las diferentes modelizaciones.
- Por último, se transformarán las preferencias representadas en los modelos estimados en distintos indicadores que permitan analizar la posible existencia del *rail factor*: valores del tiempo, valores de las elasticidades de la demanda frente a distintas variables, probabilidades de elección de las alternativas y cuotas de mercado para los sistemas de autobús y sistemas ferroviarios en diferentes situaciones reales e hipotéticas.

CAPÍTULO 3

Diseños experimentales para la recopilación de datos

3.1. Introducción

Los estudios que incluyen una modelización de la demanda de transporte representan una pieza clave en el análisis de los posibles problemas relacionados con la captación de viajeros en sistemas de transporte público. Permiten adaptar la oferta de transporte a la demanda de usuarios y facilitan información valiosa a la hora de adoptar medidas relacionadas con la gestión de las infraestructuras o la implantación de nuevas alternativas de transporte público. De este modo, es posible predecir las repercusiones que estas medidas tendrán en la red de transporte. Este es uno de los aspectos clave en la planificación del transporte, puesto que llevar a cabo modificaciones en la red suele conllevar grandes inversiones, siendo estas medidas adoptadas difícilmente reversibles sin invertir de nuevo una elevada cantidad de recursos.

Además del aspecto económico, el buen funcionamiento del sistema de transporte público en las aglomeraciones urbanas es una cuestión esencial para el desarrollo de la sociedad, puesto que ofrece grandes oportunidades de integración con otros servicios públicos y actividades, tales como el empleo, la sanidad, la educación, el comercio, etc. Una mejora en un sistema de transporte público se traduce rápidamente en mejores sistemas sociales y económicos y, en definitiva, en una mejora de la calidad de vida. Un sistema de transporte público bien concebido y gestionado es clave para enfrentarse a problemas como la congestión, la cohesión social o la regeneración urbana, y además es indispensable para lograr objetivos relacionados con una movilidad sostenible.

En la presente tesis se realiza un análisis basado en estudios de modelización de la demanda potencial, es decir, la que se prevé que existiría en unas determinadas circunstancias futuras. Se necesita por tanto un modelo matemático que tenga en cuenta variables que evolucionan fuera del modelo, que simule el hipotético

comportamiento de los usuarios ante un nuevo sistema de transporte, y que permita por tanto realizar predicciones de esta demanda. El enfoque empleado habitualmente consiste en la búsqueda de un modelo matemático del tipo:

$$y = f(\beta, x, z) \quad (3.1)$$

siendo:

- y la variable dependiente o endógena (respuesta del modelo)
- x, z las variables independientes o exógenas (variables del sistema de transporte y variables socioeconómicas)
- β son parámetros o coeficientes del modelo
- f es la función a determinar por el analista

Los modelos directos no han dado buenos resultados en general, por lo que se ha tendido hacia modelos secuenciales en los que cada etapa tiene una función f , una variable dependiente distinta y toma los resultados de la anterior como atributos, además de nuevas variables. El más conocido es el modelo clásico de transporte de 4 etapas:

- Generación: Se estima cuántos viajes se producirán o se atraerán en una zona, en función de sus características futuras.
- Distribución: Se estima cómo será la matriz de viajes entre zonas en unas circunstancias diferentes a las actuales.
- Reparto modal: Se estima el porcentaje de usuarios que captará cada modo de transporte ante distintas variaciones en las alternativas disponibles.
- Asignación: Se estima el porcentaje de viajeros (o de vehículos) que empleará cada una de las rutas que comunican 2 puntos cualesquiera.

El objetivo principal de la presente tesis se centra en algunos de los procesos incluidos en la etapa de reparto modal.

En el marco de la modelización del transporte era habitual hace unas décadas el uso de modelos agregados, empleándose como datos para la calibración los valores medios de grupos de usuarios con algún rasgo común. Este enfoque fue cuestionado a raíz del *Travel Demand Forecasting Project* de 1972, cuya principal aportación se resume perfectamente en su eslogan "*Zones don't travel; people travel!*" (Domencich & McFadden, 1972). Gran parte del desarrollo metodológico desde entonces se basa en

un análisis del comportamiento individual de los usuarios siendo conocidos los modelos así estimados como modelos desagregados de demanda (Ortúzar & Willumsen, 2011).

Estos modelos se sirven básicamente de 2 tipos de fuentes de datos: datos de preferencias reveladas (PR) y datos de preferencias declaradas (PD). Los primeros se caracterizan por reflejar de forma directa el comportamiento de los usuarios. El segundo tipo de datos se nutre de la percepción y opinión declarada por los usuarios frente a situaciones hipotéticas que son presentadas a través de encuestas, contribuyendo cada encuestado a la muestra con una cantidad de observaciones igual al número de situaciones hipotéticas contestadas. En función de la forma en la que se capta la variable independiente, se distinguen 2 categorías de interés en el ámbito de la investigación del comportamiento del viajero mediante datos PD:

- Categoría “preferencia”: se pregunta al individuo por sus preferencias entre un conjunto de combinaciones de variables independientes y de distintos valores correspondientes a las mismas. Estas combinaciones definen las características de un producto o servicio. Los procedimientos pertenecientes a esta categoría son conocidos con el nombre de jerarquización (*ranking*) y puntuación (*rating*). En el primer caso se comparan y ordenan todas las alternativas según su atractivo o preferencia en cada respuesta, mientras que en el segundo la respuesta se organiza en una escala (numérica o semántica) que indica satisfacción, atractivo o probabilidad de uso de un servicio o producto.
- Categoría “elección”: se pide al individuo que realice una elección (*choice*) de una de las combinaciones de variables y valores de las mismas.

La decisión acerca de la estrategia empleada para la captación de la variable dependiente debe ser considerada al comienzo del estudio con datos PD, ya que los requisitos necesarios inicialmente, los datos disponibles para modelización al final del proceso, y el tratamiento necesario para su incorporación al modelo son muy diferentes en función de la estrategia empleada. En la actualidad la mayoría de analistas del comportamiento de los viajeros se decantan por modelos de predicción del reparto modal basados en la elección. El principal atractivo de este tipo de experimentos reside en el paralelismo que existe entre este procedimiento y la toma de decisiones relacionadas con la elección de modo de transporte en la vida real, donde cada individuo realiza una comparación de cada una de las alternativas disponibles y elige solamente una de ellas. Además, el proceso es mucho más simple

para el encuestado siendo la calidad de los datos así obtenidos similar a la de los datos obtenidos con los otros tipos de estrategias (Ortúzar & Garrido, 2000).

Esta preferencia por la categoría “elección” también está vinculada al extendido empleo de modelos de elección discreta (*Discrete Choice Model*, DCM) en el ámbito de la modelización del reparto modal. Estos modelos nacen con el objetivo de representar el comportamiento de un individuo que se enfrenta a la elección de una única alternativa entre un conjunto finito de alternativas disponibles. Mediante un DCM es posible obtener la probabilidad de elección de cada una de las alternativas disponibles basándose en la existencia de una utilidad asociada a cada una de ellas. Si bien el análisis en detalle de este tipo de modelos se realizará en el capítulo 5, en el apartado 3.3. se introducen los conceptos básicos que son necesarios para la comprensión del diseño experimental.

Por último, cuando se emplean datos PD para la estimación de modelos de reparto modal, el diseño del ejercicio o experimento de elección planteado es otro aspecto importante. En función de las características que el analista considere importantes para el estudio del fenómeno considerado, este decide entre los 2 principales tipos de diseños experimentales que pueden emplearse para la modelización de la demanda de transporte:

- Diseños ortogonales: permiten la determinación independiente de la influencia que cada variable tiene sobre la elección.
- Diseños eficientes: tienen como objetivo minimizar los errores estándar cometidos en la estimación de los coeficientes del modelo para conseguir la mayor eficiencia estadística en función de la muestra adoptada. Es decir, cometer un error menor con una muestra de tamaño idéntico o cometer el mismo error con una muestra de menor tamaño que el necesario para otros diseños. Esta tipología ha sido menos empleada que la anterior, debido principalmente a los requisitos necesarios para conseguir un diseño correcto (como por ejemplo, la necesidad de conocer de forma previa un valor aproximado de los coeficientes del modelo, o las mayores necesidades en lo que a la computación del proceso se refiere).

El capítulo 3 se organiza de la siguiente forma: en primer lugar se analizan las principales características de los distintos tipos de datos empleados en la estimación de la demanda de transporte. Posteriormente se describen las bases del paradigma de maximización de la utilidad aleatoria (*Random Utility Maximization*, RUM) y los

principales DCM empleados en la presente tesis. A continuación se introduce el fenómeno estudiado realizando las consideraciones iniciales necesarias a la hora de abordar cualquier diseño experimental. En quinto lugar se identifican las variables influyentes mediante trabajos realizados sobre un grupo focal para posteriormente definir las características del ejercicio de elección PD planteado. A continuación se muestran los procedimientos empleados en los diferentes diseños experimentales considerados, es decir, diseño experimental ortogonal para la encuesta piloto, y diseños experimentales eficientes para las encuestas final y complementaria. Para finalizar, se muestra un resumen de las principales conclusiones que pueden extraerse de esta fase de la investigación.

En el presente capítulo se abordan cuestiones relacionadas con las siguientes preguntas desagregadas de la investigación:

- ¿Cuál es la metodología o las metodologías que parecen más adecuadas para comprobar la existencia del *rail factor* y cuantificarlo?
- ¿Cuáles son los principales atributos influyentes en la imagen que perciben los usuarios de los diferentes sistemas de transporte público?
- ¿Cómo afecta el contexto del proyecto al *rail factor*?

3.2. Preferencias de los usuarios: tipos de datos

3.2.1. Datos de preferencias reveladas (PR)

Este tipo de fuente de datos contiene preferencias de los usuarios relacionadas con la situación en la que se encuentra el mercado oferta-demanda estudiado. Por lo tanto se hace referencia a situaciones que ya han tenido lugar.

Existen ciertas ventajas para el analista que trabaja con datos PR, aunque por otro lado sus inconvenientes suelen ser determinantes a la hora de tomar la decisión de no trabajar de forma exclusiva con este tipo de datos. Los aspectos más destacados de los datos PR se describen a continuación (Hensher, Rose & Greene, 2005, pp. 92-96):

- Describen el mundo como es en la actualidad: dado que la demanda total de cualquier bien o servicio es la suma a lo largo del tiempo de las veces que ese bien o servicio es elegido, si los datos PR son recogidos en una muestra representativa de la población, es posible reproducir la cuota de mercado actual para todos los bienes y servicios dentro de esa situación de mercado.

- **Materialización de restricciones:** las restricciones o coacciones que limitan las elecciones por parte de los individuos forman parte de los datos PR. Por otro lado, esas coacciones no son necesariamente limitantes cuando se pregunta por la opción elegida dada una situación hipotética (caso PD).
También puede observarse que las restricciones existen en el mercado por sí mismo, y que no siempre se relacionan con los individuos que toman las decisiones. Así, las restricciones ambientales y tecnológicas también influyen en las elecciones realizadas.
- **Fiabilidad y validez:** la fiabilidad hace referencia a la idea de que con repeticiones en la medición de la elección se obtienen resultados similares hasta un error de muestreo. La validez alude a la relación entre lo que es observado para ser elegido y lo que fue elegido realmente.
- **Limitaciones en las alternativas, atributos y niveles de atributos:** en primer lugar, se limita la recogida de datos sobre las alternativas que existen actualmente. Esto no debería resultar un problema si el mercado objeto de estudio tiene un equilibrio estable sin posibilidad de nuevas incorporaciones ni comportamiento innovador. Pero en caso contrario, es necesario recopilar datos de nuevo para realizar modelos adicionales. Por este motivo las PR no ofrecen por sí mismas la posibilidad de realizar predicciones fiables de la demanda, si estas están relacionadas con cambios en el mercado.
- **Alternativas no elegidas:** Por norma general suele recogerse la información relacionada con la alternativa elegida en el mercado. Esto implica una notable falta de información referente al resto de alternativas no elegidas por el individuo, lo que supone uno de los grandes problemas a resolver en la modelización de la demanda de transporte.
- **Correlación:** La experiencia ha demostrado que una proporción considerable de mercados presentan correlaciones significativas entre las distintas variables (por ejemplo, a mayor calidad de bien o servicio mayor es el precio del mismo), lo que puede suponer problemas de multicolinealidad en la estimación de modelos.
- **Costes:** En función de cómo se haya decidido recopilar los datos PR, esta operación puede ser muy costosa en términos económicos y temporales. Es importante destinar los recursos necesarios a esta etapa, ya que los modelos que se produzcan serán, como máximo, tan buenos como los datos que se hayan recogido.

- Falta de variabilidad en los valores de los atributos o variables influyentes: en algunas situaciones se producen variaciones muy limitadas en los valores de los atributos. Las pequeñas variaciones entre valores de atributos ocasionan problemas en la modelización, ya que el objetivo perseguido mediante la misma es el de explicar por qué algunos individuos se ubican en ciertos puntos de la distribución de la función de utilidad de cada alternativa, y los atributos que toman un valor igual o similar para todas las alternativas no aportan información a la hora de dar explicación al comportamiento estudiado.
- Implicaciones en la forma de recoger los datos PR: una posibilidad es recopilarlos en el propio mercado (por ejemplo, de los suministradores del transporte), lo que no proporciona información acerca de cómo los usuarios eligen las alternativas de transporte. Otra opción es recoger los datos directamente de los individuos, en cuyo caso no se recopilan datos del mercado actual, sino la percepción de los individuos sobre las características de ese mercado. En función de los datos recogidos se obtendrán diferentes resultados en la estimación.
- Efectos temporales: existen 2 tipos de datos PR atendiendo al espacio temporal y número de encuestas realizadas a cada individuo. Se habla de datos de sección transversal cuando se realiza una sola encuesta por individuo, con el objetivo de observar su comportamiento ante diferentes variables en un instante determinado. Por el contrario, si se realizan varias encuestas a un mismo individuo a lo largo de un periodo de tiempo, se recogen entonces datos de panel. Con este tipo de datos es posible observar el efecto de la temporalidad en los cambios en el comportamiento debidos a las variaciones en las variables influyentes.

3.2.2. Datos de preferencias declaradas (PD)

3.2.2.1. Estado del arte

Este tipo de datos se compone de las opiniones declaradas por los individuos frente a situaciones hipotéticas de consumo. El principal atractivo de los métodos en los que se emplean datos PD consiste en la evaluación de elecciones individuales que se realizan ante la existencia de modos de transporte no observados en el mercado actual. El interés en estos métodos nace en la década de los setenta, a partir de 2 publicaciones en congresos correspondientes a Davidson y a Louviere, respectivamente (véase

Hensher, 1994). A lo largo de esa década este nuevo enfoque tuvo un desarrollo no demasiado intenso, debido en parte al interés previo que existía en desarrollar modelos de elección discreta y a aproximaciones al estudio de secuencias de elecciones humanas a lo largo de un periodo de tiempo, o estudios con datos de panel (Hensher & Stopher, 1979).

Hasta bien entrada la década de los 80, las contribuciones relacionadas en el área del transporte estuvieron dominadas por el ya mencionado Jordan Louviere. A partir de ese momento, el objetivo principal del desarrollo de estas técnicas es el análisis del comportamiento basado en situaciones de elección en las que se incluyese una alternativa que no estaba disponible en el mercado de referencia. También se empleaban cuando era complicado encontrar diferencias en la influencia de las distintas combinaciones de los atributos asociados a las alternativas ya observadas (Louviere & Hensher, 1983).

De forma previa a la comunicación de Louviere y Hensher, las investigaciones se habían centrado en contextos de elección concretos en los que se preguntaba a los usuarios para obtener una jerarquización o una categorización de ciertas combinaciones de atributos. La modelización de estos datos empleando procedimientos de estimación basados en regresiones estándar requería la simulación de contextos de elección para la predicción de cuotas de mercado. Estos autores fueron los que demostraron que los experimentos de elección asociados a datos PD permiten la predicción directa de estas cuotas.

Por lo tanto los experimentos de elección se convirtieron en el método con datos PD más popular en la modelización de la demanda de transporte, y fueron creciendo en otras áreas, como el marketing, las ciencias geográficas y el turismo. Por todo ello, esta comunicación se convirtió en una referencia importante para todo analista relacionado con la modelización del reparto de modo de transporte. A este hecho también contribuye la comunicación publicada anteriormente por Lerman y Louviere (1978), en la que demuestran las relaciones teóricas existentes entre los modelos de elección con datos PD y los modelos de elección con datos PR.

Green y Srinivasan (1978, 1990) han sido los investigadores más influyentes en el campo del marketing, mientras Louviere y Timmermans (1990) realizaron una revisión detallada de esta cuestión en el campo del turismo. En el campo de la modelización de la demanda de transporte, se destaca a Jordan Louviere y a David Hensher, por otros

2 motivos principales además de por todo lo expuesto: el primero de ellos es que también han publicado libros que se consideran auténticos manuales relativos a esta cuestión (Hensher et al., 2005; Louviere, Hensher & Swait, 2000). En segundo lugar, estos autores formaron parte del equipo organizador de un curso anual en los Estados Unidos y en Australia (Louviere, Hensher & Shocker, 1992) que cubría todos los aspectos relacionados con la modelización con datos PD.

3.2.2.2. Características de los estudios con datos PD

Los principales aspectos relativos a este tipo de datos son los siguientes (Louviere et al., 2000):

- Al tratarse de elecciones sobre escenarios hipotéticos, puede resultar que las restricciones personales no se tengan en cuenta como coacciones influyentes en la elección, lo que puede conducir a situaciones en las que la elección PD no se corresponda con la que se adoptaría en la realidad. Esto puede afectar a la fiabilidad de los resultados del experimento y por tanto es tarea del analista el crear escenarios realistas y definir con precisión cada situación de elección.
- La propia naturaleza hipotética de este enfoque ofrece la ventaja sobre los datos PR de no limitarse a alternativas y valores de las variables existentes en la actualidad. Por lo tanto, es posible obtener datos precisos para la predicción de la demanda que no podrían obtenerse mediante otros métodos. Esto puede apreciarse en la siguiente figura, donde los datos PR representan información sobre la frontera tecnológica existente en la actualidad, mientras que los datos PD permiten la exploración de cuestiones más allá de esta barrera.

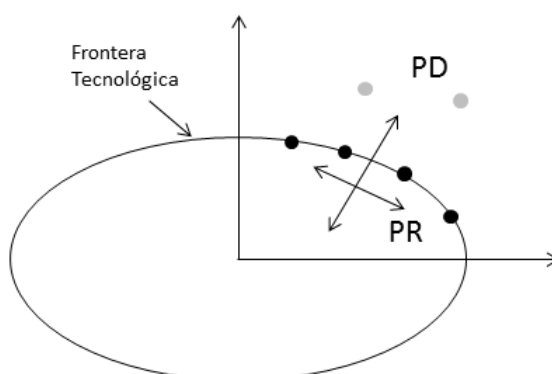


Fig. 3.1. Frontera tecnológica y roles de los datos PR y PD (Fuente: Elaboración propia a partir de Louviere et al., 2000, p. 23)

- El analista puede manipular las relaciones entre atributos influyentes en la elección con el objetivo de investigar distintas hipótesis acerca de la forma funcional que debería tener la utilidad.
- El rango de atributos puede ser extendido al nivel requerido, permitiendo incorporar variables de especial interés aislando totalmente sus efectos, variables secundarias que tengan una naturaleza cualitativa, etc.
- Este tipo de datos aporta gran flexibilidad en el experimento, facilitando el empleo de especificaciones del modelo distintas de la clásica forma lineal sin interacciones entre variables.
- No existe error en la medición de los datos por la forma en la que se construyen los cuestionarios, ya que la variable dependiente muestra la decisión hipotética del consumidor y las variables independientes presentan valores concretos definidos por el analista.
- Estos métodos son menos costosos que los que implican datos PR (económica y temporalmente hablando) por varios motivos, entre los que destacan que no se necesita información adicional de los valores de los atributos en las alternativas no elegidas y que cada usuario debe considerar varios escenarios de elección, por lo que se generan múltiples respuestas con cada cuestionario.

3.2.2.3. Fuentes de error en la modelización con datos PD

Tal y como se ha comentado, una de las principales diferencias entre los datos PR y PD es que por construcción estos últimos no presentan errores de medición. Sin embargo, existen ciertas características de las encuestas PD que pueden influir negativamente en la información obtenida mediante la recopilación de datos, como la falta de realismo en las situaciones de elección, la artificialidad de algunas alternativas de transporte o la diferencia entre la información recopilada mediante jerarquización, puntuación o elección.

Además de los anteriores aspectos existe una fuente de error inherente a las encuestas PD que está directamente relacionada con el encuestado, ya que no es posible conocer las diferencias entre lo que los individuos declaran que harían en una situación hipotética planteada y lo que realmente harían si esta se presenta. Los principales tipos de errores potenciales aplicables a los datos PD pueden encontrarse en una revisión realizada por Bates (1988) (Ortúzar & Willumsen, 2011, p. 315):

- Errores debidos a la fatiga que experimenta el encuestado, que se da cuando se enfrenta a un número elevado de situaciones de elección. Este efecto es mayor a medida que aumenta la complejidad del experimento.
- Sesgo político, ya que el encuestado puede responder deliberadamente con un comportamiento diferente al que tendría en la realidad, con el fin de influir en las decisiones o políticas que él considera que se seguirán en función de los resultados obtenidos en el estudio del que forma parte.
- Sesgo de autoselección o de racionalización, cuando un individuo proporciona respuestas artificiales en un intento de racionalizar su comportamiento habitual, asociado a un fenómeno subconsciente denominado disonancia cognitiva (Bradley & Kroes, 1990; citado en Ortúzar & Willumsen, 2008).

Otra característica negativa de las encuestas PD sobre situaciones hipotéticas es la posible influencia del analista (como diseñador del cuestionario) o del encuestador en los resultados obtenidos. En el último caso puede aparecer un sesgo de interacción, ya que si el encuestador no ha sido formado debidamente puede influir en las respuestas que proporcionan los individuos. Un sesgo adicional relacionado con el de interacción es el sesgo de afirmación, que consiste en que el encuestado puede expresar, consciente o inconscientemente, las preferencias que considera que el encuestador desea recibir (Corbetta, 2007).

3.3. Introducción a los modelos de elección discreta

Para la realización del presente apartado se ha utilizado como referencia principal la tesis de Alfonso Orro (Orro, 2005), por lo que en lo sucesivo no se hará referencia continua a la misma.

3.3.1. Modelizando elecciones de los encuestados

Se define a la elección como el proceso en el que un individuo escoge entre bienes que se perciben como discretos. Por lo tanto interesa qué se elige y no cuánto se elige. Una elección puede verse como un proceso en el que se siguen los siguientes pasos (Ben-Akiva & Lerman, 1985, pp. 31-33):

1. Definición del problema de elección
2. Generación de alternativas
3. Evaluación de los atributos de las alternativas

4. Elección

5. Puesta en práctica de la decisión tomada

Los individuos no realizan siempre este proceso cada vez que deben efectuar una elección, sino que pueden omitirlo en parte y tomar una decisión por hábito, intuición, convencionalismo social, etc.

Las principales reglas que describen el mecanismo que utiliza el decisor para procesar la información disponible y alcanzar una elección única se denominan reglas de decisión. Estas pueden clasificarse en las categorías siguientes (Ben-Akiva & Lerman, 1985, pp. 35-37):

- Dominancia: una alternativa es dominante respecto a otra si al menos es mejor en una variable o atributo y no es peor en los demás.
- Satisfacción: una alternativa puede ser eliminada cuando no se alcanza un umbral mínimo de satisfacción para cada atributo.
- Reglas lexicográficas: se suponen los atributos ordenados por importancia. Cada individuo elige la alternativa que tiene el mayor valor en el atributo más importante y en caso de igualdad se pasa al siguiente atributo por orden de importancia.
- Eliminación por aspectos: se comienza con el atributo más importante, eliminando las alternativas que no alcanzan el umbral de satisfacción. Si existen varias alternativas que lo alcanzan, se pasa al siguiente atributo en importancia, y así sucesivamente. Batley y Daly (2004) plantean la equivalencia de este tipo de regla de decisión con la maximización de la utilidad aleatoria.
- Utilidad: se considera un vector de atributos medibles y que el atractivo de una alternativa se puede expresar mediante un escalar, denominado generalmente utilidad. El individuo busca la maximización de esta utilidad. Esta regla implica un comportamiento de tipo compensatorio, al contrario de lo que sucedía en las reglas anteriormente descritas.

Este último comportamiento hipotético (maximización de la utilidad) es el que ha fundamentado prácticamente todo el desarrollo de los modelos de elección discreta en transportes.

3.3.2. Maximización de la utilidad aleatoria

Daniel McFadden, galardonado con el Nobel de Economía en el año 2000 por su desarrollo de teorías y métodos empleados en el análisis de elecciones discretas, fue el principal impulsor en el empleo de modelos econométricos de elección discreta en el ámbito del transporte. A mediados del siglo XX obtuvo lo que en la actualidad es conocido como modelo logit multinomial (MNL), en el que se utilizan utilidades que cumplen el axioma de Independencia de Alternativas Irrelevantes (IAI). Para una revisión en profundidad véase Ortúzar y Willumsen (2011, pp. 227-232).

En los modelos de elección discreta se representa el comportamiento de un individuo que se enfrenta a la elección de una única alternativa entre un conjunto finito de alternativas disponibles. Cada una de las alternativas tiene asociada una utilidad que indica su atractivo, y que se concibe como un escalar calculado en función de un vector de atributos medibles. Los DCM implican un comportamiento de tipo compensatorio y son consistentes con el paradigma de la maximización de utilidad aleatoria (*Random Utility Maximization*, RUM). La utilidad neta U para el individuo q asociada a la alternativa j puede representarse mediante 2 componentes: una parte medible denominada utilidad representativa o sistemática (V), y una componente aleatoria (ε), en el que se engloban los gustos particulares de cada individuo así como los errores cometidos en la medición u observación (Domencich & McFadden, 1975). En función de la estructura del error aleatorio ε se obtendrán distintos tipos de DCM.

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad (3.2)$$

De modo que el individuo q escogerá la alternativa j si y sólo si:

$$U_{jq} > U_{iq}, \forall i \neq j \quad (3.3)$$

El analista solamente será capaz de determinar la parte representativa de la utilidad, denominada V_{jq} . Esta se define como una función de una serie de atributos observados que están relacionados con las alternativas, la situación de elección y con el propio individuo, denominados x_{jq} . La función requiere el ajuste de unos parámetros β para su calibración. En la mayoría de modelos de elección discreta empleados en la modelización de la demanda se usan funciones de utilidad lineales en los parámetros:

$$V_{jq} = \sum_{k=1}^K \beta_{kq} x_{kj} \quad (3.4)$$

La especificación es general, ya que se define ε_{jq} como la diferencia entre el valor real de la utilidad y el valor que observa el analista. De esta forma, el error no está definido para una situación de elección en sí misma, sino que se define para la especificación que el analista haya hecho en referencia a esa situación (Train, 2009, p. 15).

La elección del individuo bajo las hipótesis consideradas es completamente determinista, si bien el analista no va a conocer el valor de las utilidades reales. Por todo ello, lo único que va a poder conocer es la probabilidad de que una alternativa sea la que tiene una mayor utilidad.

Si se denomina $f(\varepsilon_n)$ a la función de densidad conjunta del vector $\varepsilon_n = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_N)$ (vector de los términos aleatorios de error, con media cero), se puede estimar la probabilidad de que el individuo escoja cada una de las alternativas suponiendo conocida la utilidad representativa V_{jq} . La probabilidad de que el individuo q escoja la alternativa j puede expresarse como:

$$\begin{aligned} P_{jq} &= \text{Prob}(U_{jq} \geq U_{iq}; \forall i \neq j) \\ P_{jq} &= \text{Prob}(V_{jq} + \varepsilon_{jq} \geq V_{iq} + \varepsilon_{iq}; \forall i \neq j) \\ P_{jq} &= \text{Prob}(\varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq} \leq V_{jq} - V_{iq}; \forall i \neq j) \end{aligned} \quad (3.5)$$

Por lo tanto esta probabilidad se corresponde con la probabilidad de que cada término aleatorio $\varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq}$ sea inferior a una cantidad observada $V_{jq} - V_{iq}$, es decir, se trata de una función de distribución acumulada. A partir de la función de densidad $f(\varepsilon_n)$ se puede calcular esta probabilidad como:

$$P_{jq} = \text{Prob}\{\varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq} \leq V_{jq} - V_{iq}; \forall i \neq j\} = \int_{\varepsilon} I(\varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq} \leq V_{jq} - V_{iq}; \forall i \neq j) f(\varepsilon_q) d\varepsilon_q \quad (3.6)$$

Donde $I(\cdot)$ es una función que vale 1 si el término entre paréntesis es cierto (por lo que el individuo ha escogido la alternativa j) y cero en otro caso. Dependiendo de la distribución que cada modelo suponga para ε_{jq} se obtiene un valor cerrado de la integral o bien debe evaluarse numéricamente por simulación.

Para el proceso de calibrado del modelo se estiman los valores de los coeficientes β . El procedimiento más empleado consiste en tomar como estimadores aquellos valores que maximicen la verosimilitud de la muestra utilizada. La función de verosimilitud de una muestra determinada puede obtenerse generalmente con la siguiente expresión:

$$\mathcal{L}(\beta) = \prod_{q=1}^Q \prod_j (P_{jq})^{y_{jq}} \quad (3.7)$$

siendo $y_{jq}=1$ si el individuo q ha escogido la alternativa j y cero en otro caso. Suele trabajarse con el logaritmo neperiano de la verosimilitud para facilitar la maximización numérica, denominándose a la función obtenida como log-verosimilitud:

$$LL(\beta) = \sum_{q=1}^Q \sum_j y_{jq} \ln(P_{jq}) \quad (3.8)$$

El estimador obtenido es el valor del vector de parámetros β que maximiza la función de log-verosimilitud, labor para la cual existen diversos procedimientos numéricos (para una revisión en profundidad al respecto véase Train, 2009, pp. 185-204).

3.3.3. Principales modelos basados en la RUM

La principal diferencia entre modelos de comportamiento basados en la maximización de la utilidad aleatoria radica en la especificación supuesta para la función de densidad de los factores no observados $f(\varepsilon_n)$. Los principales modelos de elección discreta son los siguientes:

- Logit multinomial (MNL): errores Gumbel independientes e idénticos (iid.). Por lo tanto este modelo no admite correlación entre alternativas ni entre elecciones, y se asume homoscedasticidad (varianzas iguales para todas las alternativas y para todas las elecciones).
- Modelos de valor extremo generalizados (*Generalized Extreme Value*, GEV): se admiten patrones de correlación entre alternativas. Uno de los más sencillos y utilizados es el modelo logit jerárquico o anidado (*Hierarchical Logit*, HL; *Nested Logit*, NL), en el que las alternativas se estructuran en grupos llamados nidos, de modo que los factores no observados están correlacionados para las alternativas en el interior del nido (Daly & Zachary, 1978).

- Logit mixto (*Mixed Logit*, ML): en este modelo los factores no observados se dividen en 2 partes, una parte que contiene la posible correlación y heteroscedasticidad y otra parte Gumbel iid. La primera parte puede seguir cualquier distribución. Se trata de un modelo general, por lo que con él se puede obtener cualquiera de los otros tipos de modelo imponiendo las restricciones adecuadas. La dificultad de su aplicación estriba en la necesidad de simulación para el cálculo de las integrales en la obtención de la probabilidad de elección.
- Probit (*Multinomial Probit*, MNP): derivado de la distribución normal multivariada (Daganzo, 1979). Se supone que los factores no observados siguen una distribución normal conjunta con una matriz de covarianza¹ completa. Por lo tanto el modelo puede reflejar cualquier patrón de correlación y admite heteroscedasticidad. Solamente admite la distribución normal para los coeficientes.

En la presente tesis se estimará el reparto modal en diferentes supuestos mediante modelos de la familia logit, en concreto, modelos MNL, NL y ML. En el capítulo 5 pueden verse más detalles acerca de la formulación y características principales de cada uno de ellos.

3.4. Consideraciones iniciales en el proceso de generación de experimentos basados en datos PD

Un experimento, definido en términos científicos, implica la observación de los efectos que tiene la variación o manipulación de los valores de ciertas variables, denominadas independientes o explicativas, sobre otra variable considerada como el objeto de estudio, llamada habitualmente variable dependiente o respuesta (Hensher et al., 2005, p. 100). En el caso que nos ocupa se desarrolla un experimento de elección con datos PD, enfrentando a cada encuestado con una serie de situaciones en las que se presentan alternativas de transporte para realizar un desplazamiento tipo. Estas alternativas tienen asociados diferentes valores para las variables o atributos que las caracterizan, debiendo el encuestado elegir aquella en la que haría este desplazamiento hipotético.

¹ En lo sucesivo se denominará simplifcadamente matriz de covarianza a la matriz de varianzas-covarianzas

Se ha desarrollado una amplia literatura en lo referente a los diseños experimentales con diversa terminología para denominar a los distintos tipos de variables. En adelante, se denominará a la variable dependiente como elección de modo o alternativa de transporte o simplemente elección, puesto que se empleará este enfoque como método para identificar dicha variable, mientras que las variables explicativas tendrán la denominación de atributos o variables influyentes en la elección. Del mismo modo, los distintos valores que toman los atributos variando a lo largo de las situaciones de elección reciben el nombre de niveles de atributo.

El proceso de generación de experimentos puede dividirse en una serie de fases que deben ser abordadas de forma correlativa puesto que cada una de ellas está fuertemente condicionada por sus predecesoras. Las primeras fases del proceso son susceptibles de retroalimentar a sus predecesoras, siempre que se obtenga información que indique la necesidad de realizar ciertas modificaciones en el experimento para facilitar la comprensión del fenómeno estudiado.

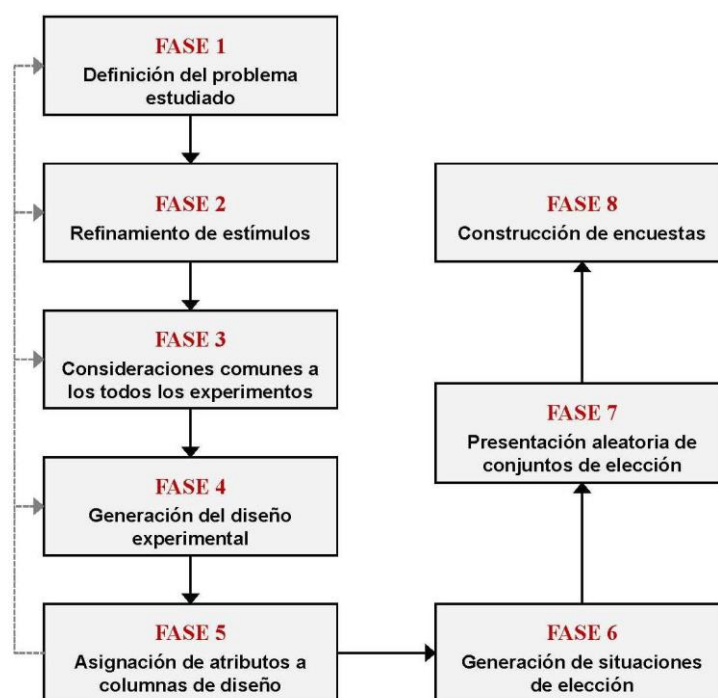


Fig. 3.2. Proceso de generación de experimento PD (Fuente: Hensher et al., 2005, p. 102)

En la figura anterior se resume el proceso empleado en la generación de experimentos, a partir del procedimiento descrito en Hensher et al. (2005, pp. 100-176), siendo este el documento de referencia para el presente apartado.

3.4.1. Definición del problema estudiado

Los objetivos de la investigación así como las cuestiones o preguntas de investigación asociadas se han desarrollado y justificado en capítulos anteriores. En concreto, se muestran las diferentes preguntas de investigación en el apartado 1.4. y los objetivos en el apartado 1.3. Estos pueden resumirse en los 3 puntos siguientes: estudiar si existe un *rail factor* en el ámbito de los SCI; concretar el grado de influencia de ciertas variables asociadas con la imagen percibida del transporte público; y obtener patrones de comportamiento de elección de los usuarios como medio auxiliar en la planificación del transporte en ciudades de tamaño intermedio.

Del mismo modo debe definirse de forma concreta la población objeto de estudio de la investigación. En este caso se ha considerado el colectivo de los estudiantes universitarios como el objeto principal del estudio, por los siguientes motivos: se trata de una población homogénea con una elevada proporción de individuos que emplean el transporte público, que además poseen diferentes grados de conocimiento de la red de transporte público, lo que supone una ventaja desde el punto de vista estratégico. En cuanto a las localizaciones elegidas, se ha planteado una estrategia multi-objetivo con la que se pretende recopilar datos en localizaciones de ámbito nacional e internacional, con distintos SCI y con diferentes grados de implantación y experiencias en cuanto al uso de los mismos. Las ciudades de tamaño intermedio de Vitoria-Gasteiz y A Coruña han sido finalmente elegidas en el ámbito español, mientras que las ciudades francesas de Clermont-Ferrand, Lille, Valenciennes y Nantes han sido seleccionadas como la parte internacional del estudio, ya que en Francia puede encontrarse un gran número de implantaciones exitosas de SCI (para más información acerca de la población y localizaciones objeto de estudio véase el capítulo 4).

3.4.2. Refinamiento de estímulos

Tras definir y acotar los objetivos deben concretarse todos los aspectos relacionados con las diferentes variables involucradas en el estudio, incluyendo tanto la variable dependiente como todas las variables independientes consideradas.

La importancia de la segunda fase de la generación de diseños experimentales se refleja en el axioma "*garbage in, garbage out*" (Hensher et al, 2005, p. 109), de intuitivo significado: los modelos empleados en la predicción de la demanda, y por lo tanto los

resultados obtenidos con estas predicciones, tendrán como máximo la misma calidad que los datos a partir de los cuales se estiman. El hecho de que el modelo tenga un comportamiento estadístico excelente no implica que refleje el comportamiento de los usuarios. Es por esto que el analista debería destinar todos los recursos posibles en esta fase antes de proceder con el diseño formal del experimento.

3.4.2.1. Listado de alternativas disponibles

En primer lugar debe definirse el conjunto universal de alternativas para todos los usuarios como requisito necesario para cumplir las reglas de la RUM, en las que se fundamentan los modelos de elección discreta que se emplearán en la estimación. Para realizar esta tarea pueden emplearse diferentes instrumentos, entre los que destacan la información de otras investigaciones, las entrevistas en profundidad con los usuarios y los grupos de discusión o grupos focales.

Posteriormente se depura el conjunto universal obteniéndose el conjunto de alternativas disponibles para cada individuo, con el objetivo de que el experimento sea manejable. Existen varias posibilidades para la generación del mismo, como la asignación de un número de alternativas aleatorio extraído del conjunto universal de alternativas o la reducción directa del número de alternativas excluyendo aquellas que no se consideren significativas.

3.4.2.2. Listado de atributos

La selección de los atributos que formarán parte de las estimaciones debe realizarse cuidadosamente, ya que influirá en gran medida en el modelo obtenido.

Un aspecto especialmente importante es la forma en la que el analista describe los atributos y niveles de atributos a los usuarios. Mientras que para los atributos que se pueden cuantificar esta exposición es sencilla (euros, minutos, número de transbordos, etc.), no ocurre lo mismo con los atributos de naturaleza cualitativa, como por ejemplo la comodidad, la congestión del tráfico, etc. En estos casos una escala semántica sin mayor especificación (bajo, medio y alto, por ejemplo) no es la forma más adecuada de presentación, ya que cada encuestado puede interpretar cada uno de los niveles de forma diferente a como lo interpretan el resto de los usuarios. El problema debe abordarse definiendo unívocamente el significado de cada uno de los valores de esta escala. Aunque las consecuencias de esta ambigüedad en los atributos pueden no ser

apreciables en la etapa de recopilación de datos, si en el momento de la modelización el atributo que presenta ambigüedades es significativo como para ser incluido en el modelo, el analista podría no disponer de todos los recursos para realizar las interpretaciones necesarias para mejorar el sistema de transporte. Cabe señalar que los mismos instrumentos empleados para generar la lista de alternativas (datos de otras investigaciones, entrevistas en profundidad o grupos focales), sirven también para refinar el listado de los atributos en este aspecto.

3.4.2.3. Listado de niveles de atributo

Una vez conocidos los atributos que formarán parte del diseño experimental debe concretarse el número de niveles de variación de cada uno de los atributos. Estos se representan en el diseño mediante unos números que tendrán cierto significado para el analista (codificación). Suele asignarse una etiqueta a cada nivel para que los encuestados comprendan el significado de los mismos, las cuales pueden ser simples números (en el caso de niveles de atributos cuantitativos) o bien palabras o descripciones (si los niveles de atributos son cualitativos).

A mayor cantidad de niveles se consigue más información en el espacio de la utilidad marginal aunque el experimento será más complejo. Debe tenerse en cuenta que el número de niveles no tiene por qué ser el mismo para todos los atributos.

Para determinar los valores extremos del rango de los niveles suelen examinarse distintas experiencias previas relacionadas con el atributo estudiado en cuestión. Puede darse el caso de que se quieran emplear valores que no entran en el rango inicialmente fijado por cuestiones relativas a la validación del modelo. Esta tarea debe realizarse con sumo cuidado, ya que las predicciones realizadas con datos ubicados en el exterior de un rango realista no tienen el mismo grado de precisión que las realizadas dentro del mismo.

3.4.3. Consideraciones comunes a los distintos diseños experimentales

Existen numerosas publicaciones que pueden servir como guías detalladas de todo el proceso de generación de experimentos (Hensher, 1994; Louviere et al., 2000; Hensher et al., 2005; Rose & Bliemer, 2009). Todas ellas coinciden en indicar que,

independientemente del tipo de diseño experimental que vaya a adoptarse (ya sea de tipo ortogonal o eficiente), el analista debe considerar inicialmente ciertos aspectos comunes que son importantes a la hora de realizar un estudio con datos PD.

Estos aspectos influyen directamente en el número de grados de libertad del experimento, el cual es uno de los factores más importantes en la generación de diseños experimentales con datos PD. Los grados de libertad en un experimento se definen como el número de observaciones de una muestra menos el número de restricciones independientes adoptadas durante el proceso de modelización. Estas restricciones son los parámetros (β) que deben ser estimados (Hensher et al., 2005, p. 118). Por tanto un grado de libertad representa una pieza de información necesaria para crear un modelo determinado y depende de la forma en la que el analista concibe el experimento. A continuación se definen los principales aspectos que influyen en el número de grados de libertad que presenta un experimento.

3.4.3.1. Experimentos etiquetados y no etiquetados

Los experimentos en los que se emplean títulos genéricos para las alternativas se denominan experimentos no etiquetados. Por ejemplo, el título “Alternativa 1”, no ofrece a los usuarios ninguna información a priori (salvo que es la primera de las alternativas), y la alternativa queda definida únicamente por las combinaciones de los niveles de atributo mostradas.

Como contrapunto, los experimentos etiquetados asignan títulos o etiquetas no genéricas a las alternativas (por ejemplo: coche, autobús, etc.), lo que implica cierto grado de información suministrada al usuario acerca de algunos atributos asociados a esa alternativa.

Los experimentos no etiquetados presentan ciertas ventajas, como no precisar de la identificación de las alternativas disponibles, o que permiten cumplir la condición de independencia de alternativas irrelevantes (condición básica para los modelos de tipo MNL). Sin embargo, en este caso ha sido necesario emplear experimentos etiquetados, puesto que el objetivo de la investigación es el de estudiar el efecto de la etiqueta en la elección, mediante la estimación de constantes específicas para las diferentes alternativas (*Alternative Specific Constants*, ASC). Además, los experimentos etiquetados presentan mayor realismo debido a la acumulación histórica

de la utilidad asociada a experiencias del pasado (imagen percibida del transporte público como representación en la memoria de los usuarios).

3.4.3.2. Especificación de la utilidad de las alternativas

Aunque el tipo de experimento es una cuestión importante en el cálculo de los grados de libertad asociados al experimento, la especificación elegida para las funciones de utilidad de las alternativas presentes en el modelo es la característica más influyente en este cálculo. Además del número y tipo de atributos y niveles que el analista ha decidido incluir en el modelo, esta especificación se ve afectada, principalmente, por los siguientes aspectos:

- Efectos principales y efectos de las interacciones: se define como efecto al impacto o influencia que un determinado nivel de atributo tiene sobre la variable elección. Los efectos directos e independientes de cada uno de los niveles de atributo sobre la elección se denominan efectos principales, mientras que el efecto simultáneo de 2 o más niveles de distintos atributos sobre la variable elección se denomina interacción. No debe confundirse el concepto de interacción con el de correlación: la correlación relaciona el cambio que sufre una variable cuando se produce un cambio en otra variable (por ejemplo, suele existir una clara correlación entre calidad y precio, ya que los bienes o servicios de mayor calidad suelen llevar asociados un precio mayor, y viceversa). El concepto de interacción entre 2 atributos alude al impacto o variación que sufre la variable respuesta (elección), cuando ambos atributos actúan conjuntamente.
- Efectos lineales y efectos no lineales de la utilidad marginal de los atributos: se define la utilidad marginal de los atributos como el cambio en la utilidad sistemática de una alternativa debida a la variación de un solo atributo manteniendo los demás atributos constantes. Si solamente se consideran 2 niveles para un atributo el analista únicamente podrá determinar una variación lineal en la utilidad del atributo, mientras que si el número de niveles es mayor podrían representarse relaciones no lineales. Para ello debe definirse al menos un parámetro para cada uno de los niveles del atributo considerados, por lo que si se quieren analizar los efectos no lineales en la utilidad de las alternativas, el número de grados de libertad del experimento aumenta.

Si consideramos que M es el número de alternativas de transporte, A es el número de atributos y L el número de niveles asociados a estos, el número de grados de libertad necesarios para tener en cuenta efectos principales se muestra en la siguiente tabla.

EFECTOS EN UTILIDAD	TIPO DE EXPERIMENTO	
	No Etiquetado	Etiquetado
Lineales	$A + 1$	$MA + 1$
No lineales	$(L-1) \times A + 1$	$(L-1) \times MA + 1$

Tabla 3.1. Número mínimo de grados de libertad para la captación de efectos principales en la generación de diseños experimentales (Fuente: Hensher et al., 2005, p.123)

Del mismo modo que esto sucede para los efectos principales, los grados de libertad necesarios para capturar los efectos de las interacciones dependen de la forma en que se especifican estas interacciones en el modelo. Para términos de interacción entre 2 atributos estimados en modelos lineales solamente se necesita un grado de libertad. Sin embargo, si en la utilidad se tienen en cuenta los efectos no lineales de los atributos se necesitan $(L_1-1) \times (L_2-1)$ grados de libertad, donde L_1 es el número de niveles en el atributo 1 y L_2 el número de niveles del atributo 2.

3.5. Identificación de variables influyentes

3.5.1. Grupo focal

El grupo focal es una técnica empleada en las primeras fases de los estudios de mercado que consiste en una reunión en la que un número reducido de consumidores exponen simultáneamente sus percepciones acerca del experimento que se está realizando. Un moderador introduce ideas y conceptos sobre los que se discute en profundidad con el fin de captar la mayor cantidad de información posible acerca del comportamiento cognitivo que presentan los individuos seleccionados, y por extensión, los individuos de la población a la que representan.

El tamaño habitual de los grupos focales destinados a investigaciones de mercado es de 10 a 12 personas (Krueger & Casey, 2014, p. 67), aunque este puede variar en función del objeto de estudio, del grado de conocimiento del fenómeno por parte de los participantes, etc. Generalizando, el tamaño habitual puede ir desde los 4-6 a los 14-15 participantes (Best & Radcliff, 2005, p. 242).

En la presente investigación se desarrollaron diferentes tareas en un grupo de discusión formado por 12 personas (8 hombres y 4 mujeres) con edades comprendidas entre los 21 y los 24 años (excepto uno de ellos que tenía 42 años en el momento en el que se realiza la reunión). Todos los participantes pertenecían al colectivo de estudiantes de la Universidad da Coruña (Campus de Elviña) y tenían una formación especializada en ingeniería de transporte.

Se consideró la posibilidad de realizar un pequeño cuestionario de forma previa a la discusión, a modo de caracterización inicial socioeconómica y de hábitos de desplazamiento (el cuestionario completo puede verse en el anexo A1). En la siguiente tabla se muestra el número de integrantes del grupo focal en función de su sexo, alternativa elegida el día de la reunión y alternativa habitualmente elegida para sus desplazamientos al campus universitario.

TIPO DE ELECCIÓN	SEXO	ALTERNATIVA DE TRANSPORTE		
		Coche (conductor)	Coche (acompañante)	Autobús
Elección actual	Hombre	6	2	0
	Mujer	0	2	2
Elección habitual	Hombre	4	3	1
	Mujer	1	1	2

Tabla 3.2. Distribución de los integrantes del grupo focal en función de distintas características

Se aprovechó este cuestionario como medio adicional para mostrar a los participantes un ejercicio de elección de modo de transporte público para desplazarse hasta el campus, recalando que las condiciones y características del desplazamiento serían exactamente iguales en cualquier aspecto que pudiesen considerar, lo que coincide con el concepto de *rail factor* adoptado en la investigación. Para ello se facilitó una ficha con 2 imágenes sin etiquetas que corresponden a un autobús y a un metro ligero. Las imágenes se eligieron de modo que los vehículos están aislados sobre un fondo blanco con el objetivo de que el entorno no influyese en la elección. El autobús es un modelo ficticio de piso bajo cuya imagen ha sido obtenida de un repositorio de imágenes sin copyright (es.123rf.com), mientras que el metro ligero es una representación del modelo de metro ligero sin catenaria ACV (Acumulador de Carga Rápida) perteneciente a la ciudad de Zaragoza (www.caf.es). En la figura 3.3. se muestran las imágenes tal y como se presentaron en el cuestionario.



Fig. 3.3. Imagen mostrada en el ejercicio de elección no etiquetado del cuestionario realizado en el grupo focal

(Fuentes: es.123rt.com y www.caf.es)

Mediante una pregunta posterior a la elección se solicitaron al menos 3 razones que justificasen la misma, expresadas en orden de prioridad (jerarquización). Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Todos los participantes escogieron la alternativa B, y solamente uno de ellos mostró preocupación por no poder decidir de forma clara en un primer momento debido a la igualdad de condiciones planteada para todos los aspectos del desplazamiento.
- La comodidad asociada al desplazamiento (66.67%), la rapidez/tiempo/velocidad (58.33%) y la fiabilidad/puntualidad (41.67%) fueron los motivos más declarados, considerando los 3 primeros motivos de la lista.
- El motivo declarado más veces en primer lugar fue la rapidez/tiempo/velocidad del viaje (33.33%), aunque se había indicado que los atributos eran idénticos para las 2 opciones. Además se destaca que la comodidad ha sido el aspecto más determinante solamente para el 16.67%.

Tras llevar a cabo un debate abierto con los participantes acerca de diferentes aspectos del experimento se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Los propios participantes indican haber justificado su elección de la alternativa B por motivos relacionados con la imagen prefijada que tienen sobre el metro ligero. Uno de los argumentos en los que respaldan su reflexión es que se les presentaron muchas más dificultades a la hora de justificar los motivos de su decisión que a la hora de tomarla.
- Tras una breve reflexión colectiva, los participantes que declararon la rapidez/tiempo/velocidad o la distancia de recorrido como determinantes lo

asociaron a la existencia de plataforma reservada/no atascos para la alternativa B. Cuestiones declaradas como de menor importancia por los participantes, como una mayor capacidad y un menor ruido, han sido reubicados por el analista como parte de los efectos de los motivos atractivo/estética/aspecto y comodidad, respectivamente.

Tal y como puede verse en la tabla 3.4., tras realizar estas modificaciones se aprecia que el motivo plataforma reservada/no atascos es el más determinante para los participantes en el grupo focal.

	RESPUESTA INICIAL		RESPUESTA RECONSIDERADA	
	Tres motivos	Primer motivo	Tres motivos	Primer motivo
Comodidad	8 (66.67%)	2 (16.67%)	9 (75.00%)	2 (16.67%)
Rapidez / Tiempo / Velocidad	7 (58.33%)	4 (33.33%)	- -	- -
Seguridad frente a accidentes	3 (25.00%)	0 (0.00%)	3 (25.00%)	0 (0.00%)
Fiabilidad / Puntualidad	5 (41.67%)	1 (8.33%)	6 (50.00%)	1 (8.33%)
Atractivo / Estética / Aspecto	2 (16.67%)	2 (16.67%)	3 (25.00%)	2 (16.67%)
Plataforma reservada / No Atascos	4 (33.33%)	2 (16.67%)	11 (91.67%)	7 (58.33%)
Sostenibilidad / No Emisiones GEI	2 (16.67%)	0 (0.00%)	2 (16.67%)	0 (0.00%)
Distancia del recorrido	1 (8.33%)	1 (8.33%)	- -	- -
Capacidad	1 (8.33%)	0 (0.00%)	- -	- -
Menor ruido	1 (8.33%)	0 (0.00%)	- -	- -
TOTAL	34*	12	34*	12

Tabla 3.3. Motivos de la elección en el ejercicio no etiquetado realizado por el grupo focal

*Uno de los participantes solamente fue capaz de expresar un motivo ("es más atractivo")

Aunque esta característica puede ser fácilmente incorporada a un sistema basado en el autobús, parece que se asocia únicamente al metro ligero. Tal y como se señaló en el apartado 2.4. del capítulo 2, para que la implantación de un BHLS sea exitosa debe actuarse sobre la infraestructura, en los casos en los que sea necesario, con el objetivo de disponer de una plataforma reservada diseñada y equipada apropiadamente para facilitar la identificación y visibilidad del sistema. Además, esta característica es indispensable para conseguir un valor adecuado de la puntualidad (regularidad/fiabilidad del sistema), la frecuencia y la velocidad de servicio, que son otros indicadores clave en el éxito o fracaso de un sistema de BHLS.

El trabajo con el grupo focal facilitó gran cantidad de información valiosa para identificar las variables que se incluirían en el diseño experimental, sobre todo aquellas que tienen que ver con la percepción de la imagen de los sistemas de transporte público por parte de los usuarios.

Por último, es importante destacar que en el contexto de este estudio las principales alternativas disponibles para realizar el desplazamiento por parte de los integrantes del grupo focal son el coche (ya sea como conductor o acompañante) y el autobús, y este último no dispone de plataforma reservada en ningún tramo de su ruta. Debido a la situación alejada del centro urbano del Campus de Elviña y a las deficiencias históricas en la infraestructura peatonal y ciclista, el porcentaje de utilización de los modos motorizados es del 94%. Aunque el automóvil es el medio más utilizado, el autobús tiene una cuota importante en este campus, suponiendo más del 40% de los desplazamientos (Pérez, Brégains, Anta & Orro, 2010).

3.5.2. Variables consideradas en el ejercicio de elección

Para concretar las variables que se incluirán en el ejercicio de elección PD se tuvieron en cuenta las conclusiones obtenidas en el grupo focal, así como la información extraída de la literatura consultada. Las alternativas consideradas en el ejercicio de elección serán el coche, un sistema de transporte público ferroviario y un sistema de transporte público basado en el autobús.

El tiempo y el coste correspondientes a los desplazamientos son los atributos de nivel de servicio que más se han empleado históricamente en los análisis del reparto modal, los *hard factors* por excelencia. En este caso se ha considerado el tiempo total empleado en realizar el desplazamiento descrito, es decir, la suma del tiempo empleado en las distintas etapas del desplazamiento (caminata, espera, búsqueda de aparcamiento, etc.).

En cuanto al coste del viaje, se considera la tarifa pagada por el desplazamiento para las alternativas de transporte público, mientras que para la alternativa coche el cálculo de estos costes no es una cuestión tan directa. Generalmente suele desglosarse este coste en al menos 2 componentes diferenciadas: el coste de aparcamiento (en destino), y el coste relacionado con el uso del coche en el desplazamiento, siendo este último difícil de cuantificar de forma precisa. En este componente se incluyen el coste del combustible, los costes derivados del seguro, el mantenimiento y la depreciación del vehículo. Algunos ejemplos en los que se han tenido en cuenta estas cuestiones pueden verse en Espino, Ortúzar y Román (2004) o en Dell'Olio, Ibeas, Dominguez y González (2012). Sin embargo, la mayor parte de los usuarios del coche solamente son capaces de considerar la parte correspondiente al coste del combustible, y lo que

es más importante, difícilmente son capaces de identificar la proporción de este coste que corresponde a un único viaje individual con un motivo diferenciado. Por lo tanto, solamente se ha incluido el coste de aparcamiento en esta investigación, indicando claramente que el resto de costes asociados (combustible, seguro, mantenimiento, etc.) debe ser considerado por cada encuestado como un coste adicional. Este enfoque se asemeja más a la percepción que tienen los usuarios sobre este atributo, siendo además el coste de aparcamiento una variable empleada a menudo en estudios de modelización de la demanda (Ben-Akiva & Morikawa, 2002; Espino et al., 2004; Espino, Román & Ortúzar, 2006; Del'Ollio et al., 2012).

Adicionalmente se introducen en el diseño 2 atributos de nivel de servicio asociados únicamente a las alternativas de transporte público: el intervalo entre vehículos y el número de transbordos. El primero de ellos está directamente relacionado con la frecuencia de paso, y aunque no ha sido mencionado directamente por los participantes del grupo de discusión, se ha incluido en muchas investigaciones de este tipo. En la mayor parte de los casos se concluyó que existía una influencia significativa del mismo en la elección (Espino et al., 2004; Espino et al., 2006; Eboli & Mazzulla, 2008; Hensher & Greene, 2011; Román, Martín & Espino, 2014). En cuanto a los transbordos realizados, estos influyen directamente en la comodidad percibida en el viaje y en la rapidez con la que se realiza el mismo. La influencia de los transbordos también se ha incluido en diversas investigaciones, bien sea como variable con niveles dicotómicos representando el número de los mismos (Axhausen et al., 2001; Cherchi & Ortúzar, 2006) o bien como variable continua representando el tiempo total dedicado a esta parte del desplazamiento (Ben-Akiva & Morikawa, 2002; Dell'Olio, Ibeas, Cecín & Dell'Olio, 2011b; Hensher & Greene, 2011).

Por último, se ha incluido un atributo con el que se pretende captar parte de la influencia de la imagen percibida por los usuarios en la elección de modo, denominado tipo de transporte público. Para ello se han definido 3 tipos de calidad del servicio (en 3 niveles diferentes), con los que se intenta plasmar las diferencias entre los sistemas de transporte descritos en el capítulo 2 (BHLS y LRT para el nivel 3; sistemas mejorados para el nivel 2 y sistemas convencionales para el nivel 1). Los principales aspectos que definen a este atributo en una primera aproximación son los siguientes:

- Plataforma reservada: es el aspecto más destacado por los miembros del grupo focal. Se define como la proporción del recorrido que discurre en plataforma reservada. O'Mahony (2002) destaca su importancia en la captación de viajeros en un estudio antes-después, mientras que en

Hensher, Ho y Mulley (2015) se incluye en un ejercicio de elección PD. Sin embargo no se trata de un ejercicio de elección al uso, ya que cada encuestado declara el sistema de transporte que le gustaría que se implantase en la ciudad y no la alternativa que elegiría para realizar un desplazamiento.

- Información suministrada: se definen distintos tipos de información suministrada tanto en la parada como en el vehículo. Se trata de un indicador de la calidad del servicio que se asocia a la facilidad de uso del mismo y por tanto a la comodidad en la prestación del mismo (se incluye en los trabajos de Eboli & Mazzulla, 2008; Rojo, Gonzalo-Orden, Dell'Olio & Ibeas, 2011; Hensher & Greene, 2011; Dell'Olio et al., 2011b; Román et al., 2014)
- Fiabilidad del servicio: Este es uno de los aspectos más importantes en los sistemas de capacidad intermedia, especialmente valorable en el BHLS (Finn et al., 2012). En Eboli y Mazzulla (2008) así como en Rojo et al. (2011) se incluye como atributo influyente en sus respectivos estudios.

Por último hay que señalar que el número de niveles que presentarán cada uno de los atributos dependerá de la fase del estudio considerada.

3.6. Características del ejercicio de elección PD

En la práctica es común mantener constante el número de combinaciones alternativa/atributo y variar solamente los niveles de los atributos en experimentos con datos PD del tipo preferencias (jerarquización o puntuación). Sin embargo, en experimentos de elección PD puede variarse el número de alternativas, manteniendo o no constantes los niveles de los atributos o el número de atributos asociados a cada alternativa. Ambos enfoques para las situaciones de elección, fijas o variables, se utilizan en la actualidad con el objetivo de captar una mayor cantidad de información aumentado además la calidad de la misma (Ortúzar & Willumsen, 2011, p. 261).

Particularizando esta idea a la presente investigación se tomó la decisión de enfrentar a los encuestados a un ejercicio de elección PD en el que se muestran 2 escenarios posibles. Estos se diferencian en las alternativas disponibles en cada uno de ellos para realizar un desplazamiento tipo con una longitud predeterminada. En la versión final de la encuesta estos escenarios fueron los siguientes:

- Escenario A: solamente disponibles 2 alternativas de transporte público (un sistema de transporte ferroviario y un sistema de transporte basado en autobús).
- Escenario B: además de los modos de transporte del escenario A, se incluye el vehículo privado como disponible para realizar el desplazamiento.

La distinción de estos 2 escenarios permite captar mayor cantidad de información, por los siguientes motivos: por una parte, si solamente se plantease el escenario B, no se obtendría preferencia alguna respecto a las alternativas de transporte público en el caso de los usuarios que prefieren el coche; por otra parte, si solo se plantease el escenario A, no se tendría en cuenta parte de la información suministrada por los usuarios que prefieren el coche, por lo que no sería posible determinar la capacidad de captación por parte de los modos de transporte público de usuarios que prefieren esta alternativa privada.

Adicionalmente, y con el objetivo de captar la influencia en la elección de ciertas variables relacionadas con la imagen percibida del transporte público, se han planteado 2 experimentos diferentes a los encuestados: el experimento 1, en el que se considera el atributo “tipo de transporte público” como influyente en la elección; y el experimento 2, en el que no se muestra este atributo y por tanto los encuestados no lo tienen en cuenta en sus elecciones.

Cabe destacar que tanto los 2 experimentos como los 2 escenarios provienen de un mismo diseño experimental en cada fase del proceso. Se realiza por tanto un diseño experimental en el que se tienen en cuenta tanto el experimento 1 como el experimento 2, especificando la utilidad de las 3 alternativas en cada caso (es decir, el escenario B). Las situaciones de elección del escenario A son idénticas a las del escenario B, simplemente no se muestra la alternativa coche como disponible para realizar el desplazamiento.

3.7. Diseño experimental ortogonal: encuesta piloto

3.7.1. Introducción

En este tipo de estudios una de las decisiones determinantes a la hora de definir la encuesta más adecuada en cada caso se encuadra en la cuarta fase del proceso de

generación de experimentos (figura 3.2.), y consiste en la elección del tipo de diseño experimental que se va a emplear. Habitualmente se han utilizado 2 tipos de diseño, denominados diseños ortogonales y diseños eficientes, persiguiendo en ambos casos relacionar la mayor cantidad de información relativa a los atributos influyentes en la elección de modo de transporte con los parámetros relevantes del modelo, siempre que el coste computacional sea razonable.

En los diseños experimentales ortogonales el analista se asegura de que los atributos implicados son estadísticamente independientes (es decir, la correlación entre los atributos del diseño es nula). Mediante este tipo de diseños es posible determinar la influencia individual que cada atributo tiene sobre las elecciones. Cabe destacar que la ortogonalidad es una propiedad estadística del diseño impuesta por el analista en este tipo de experimentos, pero no es una propiedad del comportamiento de los consumidores en situaciones reales.

Los principales motivos por los que se han venido empleando los diseños experimentales ortogonales en modelización de la demanda de transporte a lo largo de los años son los siguientes (Louviere et al., 2000):

- Permiten una estimación independiente de la influencia que cada atributo del diseño tiene sobre la elección, como ya se ha mencionado.
- Su construcción es bastante sencilla, aunque solamente para un número determinado de alternativas, atributos y niveles de atributo.
- El uso de este tipo de diseños con datos PD es el resultado de un desarrollado “ímpetu histórico”. En un principio se realizaron numerosas investigaciones empleando modelos de regresión lineal, donde la ortogonalidad se consideraba muy importante porque asegura que el modelo no presente multi-colinealidad.

En los diseños eficientes se busca optimizar la cantidad y calidad de información obtenida, a costa de permitir las correlaciones entre los diferentes atributos relacionados con la elección de modo. Por lo tanto lo que se persigue es la eficiencia estadística, dejando a un lado la independencia en la mayor parte de los casos (Rose & Bliemer, 2009). Estos diseños son especialmente interesantes cuando el tamaño de muestra es pequeño, ya que pueden proporcionar una estimación muy eficiente en estas circunstancias. Su principal inconveniente es la necesidad de información sobre los parámetros de los atributos involucrados de forma previa a la realización del mismo, y por tanto de las encuestas. Es por este motivo por el que se ha optado por

realizar una encuesta piloto con un diseño ortogonal, lo que permite obtener valores previos aproximados de los parámetros para un diseño eficiente posterior, siendo además la encuesta piloto un instrumento muy interesante para depurar tanto la forma como el contenido de los cuestionarios a lo largo de diferentes fases, mejorando por tanto la calidad de la información finalmente obtenida (para más detalle consultar Anta, Novales, Conles & Orro, 2014).

3.7.2. Metodología para el desarrollo de diseños ortogonales

La primera opción que debe contemplarse a la hora de generar un diseño ortogonal es un diseño factorial completo, que es aquel que contiene todas las situaciones de elección posibles. El hecho de abarcar todas las combinaciones de los niveles de atributo implica que es posible captar los efectos principales de cada uno de los atributos, así como todas las interacciones correspondientes. El número de situaciones de elección que componen el diseño factorial completo es L^{MA} para experimentos de elección etiquetados, y L^A para experimentos de elección no etiquetados (nótese que L es el número de niveles de atributo, M el número de alternativas y A el número de atributos).

En la mayoría de los casos el diseño factorial completo produce demasiadas situaciones de elección como para que un solo individuo sea capaz de responder a todas ellas, por lo que el analista puede optar por alguna estrategia que reduzca este número hasta hacerlo manejable. La reducción del número de situaciones de elección viene acompañada en este caso por la pérdida de cierta información. En primer lugar, se puede reducir directamente el número de atributos y niveles involucrados en el diseño experimental. Una posibilidad relacionada con este enfoque es emplear solamente los valores extremos del rango de los niveles de los atributos. Este método, conocido con el nombre de diseño de punto-límite (Louviere et al., 2000), se usa cuando al analista confía en la existencia de una relación lineal en las utilidades marginales de los atributos.

La segunda posibilidad para reducir el número de situaciones de elección que se presenta a los encuestados consiste en fragmentar el diseño en bloques, presentando a cada encuestado solamente una parte del total de las situaciones de elección. Debe tenerse en cuenta que un experimento de este tipo solamente es ortogonal si se emplea el diseño completo, y por tanto si este consta de B bloques, solamente debería

utilizarse en la modelización una observación completa del experimento cuando se dispone de las respuestas a esos B bloques. Además, al usar una columna ortogonal extra en el diseño para la variable bloques, los parámetros estimados para los atributos deben ser independientes de los bloques a los que son asignados. Este hecho es importante a nivel estadístico, sin embargo, no siempre es posible añadir una columna extra de diseño sin incrementar el número de situaciones de elección.

Por último el analista puede optar por elegir un subconjunto de situaciones de elección ortogonales de forma aleatoria de entre todas las situaciones de elección del diseño factorial completo. A este procedimiento se le denomina diseño factorial fraccional y constituye uno de los principales motivos para emplear diseños ortogonales, debido a su relativamente sencilla construcción, aunque solamente para un número reducido de alternativas, atributos y niveles de los mismos (para más información véase Anta, Silva, Pérez & Orro, 2012).

En el diseño factorial completo se tienen en cuenta los efectos principales e interacciones relacionadas con todos los atributos. Por desgracia, al recurrir a un diseño factorial fraccional no es posible identificar la proporción explicativa de todos y cada uno de los efectos principales e interacciones. Sin embargo, pueden generarse diseños que permitan la estimación de los efectos principales y de las interacciones que el analista seleccione. Estos diseños requieren conocimientos avanzados y la determinación de las interacciones que resulten estadísticamente significantes. Por supuesto, cuantas más interacciones quieran estimarse mayor será el número de grados de libertad requerido.

En cualquier caso, el diseño factorial fraccional es un recurso ampliamente utilizado. Si se considera la típica especificación lineal en los parámetros, se ha encontrado en muchos experimentos que la mayor parte de la variación global de la utilidad (U) es explicada por los efectos principales (aproximadamente un 80%). Las interacciones de 2 términos explican un porcentaje muy limitado de esta variación (3-6%), mientras que la capacidad explicativa de las interacciones de orden mayor es despreciable (Cascetta, 2001, p. 514).

Para finalizar, y aunque no se trata de un procedimiento que permita reducir las situaciones de elección, se introduce el concepto balance o equilibrio en los niveles de atributo, ya que afecta directamente al número de grados de libertad y por tanto al

número de situaciones de elección necesarias. Un experimento presenta balance o equilibrio en los niveles de un atributo cuando cada nivel de este atributo aparece el mismo número de ocasiones a lo largo de todas las situaciones de elección del experimento. Para que se cumpla esta propiedad es necesario aumentar el número de grados de libertad, de forma que al dividir el nuevo número de grados de libertad entre el número de niveles del atributo considerado, se obtenga como resultado un número entero.

En la presente tesis se ha optado por un enfoque mixto, en el que se considera un diseño factorial fraccional junto a la fragmentación del diseño experimental ortogonal en 3 bloques, como puede verse en los apartados siguientes.

3.7.3. Generación del diseño ortogonal para la encuesta piloto

3.7.3.1. Prueba previa a encuesta piloto

De forma previa a la realización de la encuesta piloto que sirvió de base para el diseño eficiente correspondiente a la encuesta final, se realizó una prueba pre-piloto con el objetivo de detectar posibles errores de planteamiento en la encuesta piloto posterior. Se pretende así facilitar la comprensión y disposición a la repuesta por parte de los encuestados. El ejercicio de elección de esta prueba pre-piloto se basó en el mismo diseño ortogonal empleado posteriormente en la encuesta piloto.

Esta prueba se realizó sobre un grupo reducido de estudiantes. Tanto el cuestionario correspondiente a este apartado como las principales conclusiones obtenidas tras la realización del mismo pueden verse en el anexo A2. Estas conclusiones se resumen en los siguientes puntos:

- Parte de la información PR (lugar, tipo de residencia, diario de viajes PR, etc.) debe suprimirse puesto que el cuestionario es demasiado extenso.
- El hecho de reducir el mismo a 1 hoja (por ambas caras) proporciona una imagen positiva hacia el mismo y un mayor índice de aceptación de la encuesta.
- La presentación del atributo tipo de transporte público debe ser mejorada.

3.7.3.2. Obtención del diseño ortogonal

Independientemente de que el diseño a generar sea un diseño ortogonal o un diseño eficiente, el analista debe elegir a priori si en el diseño se considerarán exclusivamente los efectos principales o si por el contrario, también requiere la estimación de los efectos de algunas interacciones específicas. En el primer caso, las fases 4 y 5 del proceso (generación del diseño experimental y asignación de atributos a columnas de diseño, respectivamente), se realizan de forma simultánea, mientras que en el segundo caso el proceso se realiza de forma secuencial, debiendo asignar nombres genéricos a los atributos de diseño para posteriormente asignarlos a las columnas de diseño que se adecuen a las necesidades del modelo específico. En el caso de esta investigación solamente se tendrán en cuenta los efectos principales de los atributos sobre la elección, por lo que ambas fases se abordan de forma conjunta.

La generación de diseños experimentales ortogonales es un proceso complejo, considerado por algunos autores como uno de los menos entendidos del proceso de modelización de la elección (Hensher et al., 2005, p. 127). El libro de Kuehl (2000) se dedica íntegramente a describir con detalle la generación de diseños experimentales. El empleo de software estadístico (por ejemplo SPSS) facilita el proceso de generación.

De forma previa a la generación del diseño experimental conviene concretar una serie de aspectos que se han definido en apartados anteriores:

- El diseño experimental ortogonal se realizará para hallar las combinaciones de los niveles de atributo en un ejercicio de elección PD con 3 alternativas etiquetadas.
- Se han considerado como alternativas disponibles el coche, un sistema basado en el autobús y un sistema basado en tecnología ferroviaria.
- Se emplea la etiqueta “tranvía” para este último modo de transporte, puesto que en la mayor parte de contextos donde se realiza la encuesta definitiva este es el término empleado por los usuarios para referirse indistintamente a sistemas tranviarios y sistemas de metro ligero. La influencia que puede ejercer esta etiqueta en la elección del sistema ferroviario se analiza en un experimento posterior (descrito en el apartado 3.9.).
- Los atributos considerados en el diseño experimental ortogonal son los siguientes: el tiempo total de viaje, el coste (siendo el coste total del viaje para

el transporte público y el coste de aparcamiento para el transporte privado), el intervalo entre vehículos, el número de transbordos y el tipo de transporte público. Cabe destacar que de momento se dejan a un lado las posibles características socioeconómicas y variables PR influyentes (tales como edad, sexo, grupo social, el conocimiento previo del sistema de transporte público, etc.), puesto que estas no entran a formar parte del ejercicio de elección PD.

- En esta primera aproximación al fenómeno estudiado se toman 2 niveles de variación para cada uno de los atributos, excepto para el tipo de transporte público, para el que se consideran 3 niveles de variación.

ATRIBUTO	ETIQUETA ATRIBUTO	CÓDIGO DISEÑO NIVEL	CÓDIGO ORTOGONAL NIVEL	ETIQUETA NIVEL
Tiempo	T	0	-1	Valor menor
		1	1	Valor mayor
Coste	C	0	-1	Valor menor
		1	1	Valor mayor
Intervalo entre Vehículos	F	0	-1	Valor menor
		1	1	Valor mayor
Nº Transbordos	NT	0	-1	Valor menor
		1	1	Valor mayor
Tipo de Transporte Público	L	0	-1	Definición Nivel 1
		1	0	Definición Nivel 2
		2	1	Definición Nivel 3

Tabla 3.4. Atributos y niveles de atributo considerados en el diseño experimental ortogonal para la encuesta piloto

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, el empleo de un diseño factorial completo implicaría la evaluación de un número situaciones de elección imposible de manejar para cada encuestado ($L^{MA} = 2^{3 \times 2} \cdot 2^{2 \times 2} \cdot 3^{1 \times 2} = 9\ 216$).

Con el objetivo de reducir este número de situaciones de elección se ha optado por una estrategia basada en 2 enfoques:

- Obtener un diseño factorial fraccional, con un número de grados de libertad determinado a partir de la siguiente especificación para la función de utilidad representativa de las alternativas:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \beta_{T,1} \cdot T_1 + \beta_{C,1} \cdot C_1 \\
 V_2 &= ASC_2 + \beta_{T,2} \cdot T_2 + \beta_{C,2} \cdot C_2 + \beta_{F,2} \cdot F_2 + \beta_{NT,2} \cdot NT_2 + \beta_{L2,2} \cdot L2_2 + \beta_{L3,2} \cdot L3_2 \quad (3.9) \\
 V_3 &= ASC_3 + \beta_{T,3} \cdot T_3 + \beta_{C,3} \cdot C_3 + \beta_{F,3} \cdot F_3 + \beta_{NT,3} \cdot NT_3 + \beta_{L2,3} \cdot L2_3 + \beta_{L3,3} \cdot L3_3
 \end{aligned}$$

Los subíndices 1, 2 y 3 se refieren a los modos coche, autobús y tranvía, respectivamente, mientras que las variables influyentes están descritas en la

tabla 3.4. En este caso se ha tomado al coche como la alternativa de referencia considerando todos los parámetros asociados a los atributos como específicos. Esta especificación solamente permite captar los efectos no lineales en la utilidad marginal del atributo tipo de transporte público, resultando el número de grados de libertad necesario igual a 17.

- Fragmentar el diseño en 3 bloques, por lo que se añade un grado de libertad adicional. Sin embargo se aumenta el número de situaciones de elección hasta 27 (es decir, 9 situaciones de elección por bloque, lo que constituye un buen número para presentar a los encuestados). El principal objetivo de esta actuación es el de conseguir más información en esta fase previa de la investigación y permitir diseños más complejos en fases posteriores.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1
2	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1
3	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	0	0	1
4	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0	-1	1
5	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1
6	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	0	1
7	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	0
8	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1
9	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1
10	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	0
11	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	0	0
12	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	0	1
13	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
14	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	0
15	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1
16	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	0	0
17	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	0	-1
18	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	0	-1	-1
19	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	0	-1
20	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	0
21	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1
22	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	0	0	-1
23	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	0	1	1
24	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	0	1	0
25	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	0	0	0
26	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	0	1	-1
27	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	0	-1	0

Fig. 3.4. Diseño experimental ortogonal para encuesta previa y piloto a partir de la herramienta estadística SPSS

Para generar el diseño experimental ortogonal se recurre a la herramienta estadística SPSS (versión 17.0.1). Se introducen 13 columnas de diseño, tantas como atributos se consideran más 1 que se empleará para fragmentar el diseño en 3 bloques (señalada en color azul en la anterior figura).

Cabe destacar que se ha sobrepasado el número de columnas para las que SPSS realiza diseños ortogonales. Se asignó un nombre genérico a cada una de estas columnas (aunque no sería estrictamente necesario ya que no se ha planteado el estudio de interacciones) con el objetivo de asignar la variable bloques a la columna

que presente las menores correlaciones con el resto de variables, una vez se ha hallado la matriz de correlación del diseño. En cualquier caso, la mayor correlación en valor absoluto obtenida ha sido de $1.068E-17$, por lo que puede considerarse el diseño como cuasi-ortogonal, tal y como puede apreciarse en la tabla 3.5.

En el anexo A3 se presenta la encuesta piloto, tanto la sección dedicada a la recopilación de datos PR, como la sección PD para los 2 tipos de experimento considerados.

Para concluir este apartado debe destacarse que las fases descritas hasta el momento son susceptibles de sufrir un proceso de retroalimentación, tal y como se muestra en la figura 3.2. Este proceso tiene como finalidad refinar el diseño experimental de forma previa a la consecución de las tres últimas fases, puesto que en este punto todos los aspectos principales del diseño experimental con el que se obtendrán los datos para la estimación de modelos deben estar analizados y concretados al detalle.

	T_{car}	C_{car}	T_{bus}	C_{bus}	T_{rail}	C_{rail}	F_{bus}	F_{rail}	NT_{bus}	NT_{rail}	BLOCK	L_{bus}	L_{rail}
T_{car}	1	9.25E-18	9.25E-18	6.48E-17	6.94E-17	4.63E-17	9.25E-18	1.39E-17	6.48E-17	1.39E-17	-1.1E-17	-4.3E-17	-1.1E-17
C_{car}	9.25E-18	1	9.25E-18	0	9.25E-18	0	7.4E-17	2.31E-17	9.25E-18	4.63E-17	1.07E-17	-1.1E-17	1.07E-17
T_{bus}	9.25E-18	9.25E-18	1	9.25E-18	1.39E-17	2.78E-17	8.33E-17	2.78E-17	0	3.7E-17	0	1.07E-17	0
C_{bus}	6.48E-17	0	9.25E-18	1	1.39E-17	3.7E-17	0	3.7E-17	2.78E-17	1.39E-17	0	2.14E-17	0
T_{rail}	6.94E-17	9.25E-18	1.39E-17	1.39E-17	1	8.33E-17	6.48E-17	-9.3E-18	3.24E-17	-4.6E-18	0	0	0
C_{rail}	4.63E-17	0	2.78E-17	3.7E-17	8.33E-17	1	5.55E-17	4.16E-17	-9.3E-18	2.78E-17	0	4.27E-17	0
F_{bus}	9.25E-18	7.4E-17	8.33E-17	0	6.48E-17	5.55E-17	1	1.39E-17	4.63E-17	6.48E-17	0	0	-1.1E-17
F_{rail}	1.39E-17	2.31E-17	2.78E-17	3.7E-17	-9.3E-18	4.16E-17	1.39E-17	1	6.48E-17	4.63E-18	1.07E-17	0	1.07E-17
NT_{bus}	6.48E-17	9.25E-18	0	2.78E-17	3.24E-17	-9.3E-18	4.63E-17	6.48E-17	1	2.78E-17	1.07E-17	1.07E-17	0
NT_{rail}	1.39E-17	4.63E-17	3.7E-17	1.39E-17	-4.6E-18	2.78E-17	6.48E-17	4.63E-18	2.78E-17	1	-1.1E-17	1.07E-17	1.07E-17
BLOCK	-1.1E-17	1.07E-17	0	0	0	0	0	1.07E-17	1.07E-17	-1.1E-17	1	0	0
L_{bus}	-4.3E-17	-1.1E-17	1.07E-17	2.14E-17	0	4.27E-17	0	0	1.07E-17	1.07E-17	0	1	0
L_{rail}	-1.1E-17	1.07E-17	0	0	0	0	-1.1E-17	1.07E-17	0	1.07E-17	0	0	1

Tabla 3.5. Matriz de correlación de los atributos del diseño experimental piloto

3.7.4. Generación y presentación aleatoria de situaciones de elección

Las situaciones de elección son el mecanismo básico para presentar información relativa a las alternativas, atributos y niveles de atributos a los encuestados. Por lo tanto la información requerida para la estimación de modelos de elección es obtenida a través de las mismas.

En fases anteriores del diseño se empleó una estructura codificada para representar los niveles de los atributos implicados (tal y como puede verse en la tabla 3.4.). La primera tarea de esta fase es transformar de nuevo esta información, para que los usuarios comprendan el significado de los niveles y facilitar así su distribución en el trabajo de campo. Con ello se consigue introducir a cada encuestado en un contexto rico en información sobre las características de cada alternativa, en el que es posible escoger de forma razonada alguna de ellas para realizar el desplazamiento.

A la hora de presentar estas situaciones de elección es necesario hacerlo de forma que se recopile toda la información relevante y que se dote de significado claro a cada una de las elecciones requeridas a los usuarios.

En esta encuesta piloto puede observarse que se presentan las 2 tipologías diferentes de etiquetas de niveles de atributo: cuantitativas para tiempo, coste, intervalo entre vehículos y número de transbordos; y cualitativas para el tipo de transporte público. Para el caso de los atributos con niveles cuantitativos se ha tomado como referencia un viaje tipo desde el centro de la ciudad de A Coruña hasta el Campus de Elviña, ubicado a las afueras de la misma. El tiempo de viaje para el coche se ha calculado como el tiempo medio de varias rutas posibles a partir de la aplicación Google Maps (<http://maps.google.es>). El resto de los valores asociados al tiempo se ha pivotado en torno a este tiempo de referencia ($T=16$ min). En cuanto al coste de aparcamiento para el coche, se ha considerado un coste proporcional a la tarifa tipo para el transporte público, estipulada como $C=1.15$ € (valor del billete sencillo en el momento en el que se realizó la encuesta), y se ha procedido de forma similar a la que se planteaba para el tiempo en el resto de casos. Los valores finalmente considerados para tiempo y coste, así como el número de transbordos, el intervalo entre vehículos y el tipo de transporte público, pueden verse en la tabla siguiente. Entre paréntesis se muestran los valores asociados a los niveles tal y como se mostraron a los encuestados:

ATRIBUTO	NIVEL	Coche	Transporte Público
Tiempo	-1	T (16 min)	1.25*T (20 min)
	1	1.20*T (19 min)	1.5*T (24 min)
Coste	-1	0*C (0 €)	C (1.15 €)
	1	0.75*C (0.9 €)	1.25*C (1.45 €)
Intervalo entre Vehículos	-1	- (-)	Bajo (5 min)
	1	- (-)	Medio (10 min)
Nº Transbordos	-1	- (-)	Sin transbordos (0)
	1	- (-)	1 transbordo (1)
Tipo de Transporte Público	-1	- (-)	Nivel 1 (1)
	0	- (-)	Nivel 2 (2)
	1	- (-)	Nivel 3 (3)

Tabla 3.6. Valores de los niveles de atributos presentados en la encuesta piloto

El significado de las etiquetas cualitativas debe definirse de forma concreta y evitando ambigüedades, con el fin de que tengan el mismo significado para todos los encuestados. En este caso el atributo tipo de transporte público se ha presentado a los mismos tal y como puede verse en la siguiente tabla de 2 entradas:

TIPO DE TRANSPORTE PÚBLICO			
Características	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Carril Reservado y Prioridad en Intersecciones	No disponible en todo el recorrido	Disponible en la mitad del recorrido	Disponible en todo el recorrido
Información suministrada en paradas	Itinerario y horario de líneas	Itinerario y horarios de líneas/ Tiempo de espera en tiempo real	Idéntica a la del nivel 2
Retraso superior a 5 minutos en origen	1 de cada 4 vehículos	1 de cada 10 vehículos	En muy raras ocasiones

Tabla 3.7. Presentación del atributo tipo de transporte público en la encuesta piloto

Por otro lado, y continuando con la fase 7 del proceso de generación de experimentos PD (figura 3.2.), el analista no debe ignorar los posibles sesgos debidos al orden en que se presentan las situaciones de elección a los encuestados. Existen indicios en la literatura de que las primeras situaciones son empleadas por estos usuarios para conocer en cierta medida el proceso requerido, por lo que las situaciones de elección posteriormente mostradas no serán tratadas de la misma forma en términos de la utilidad. Esto es debido al efecto fatiga, acentuándose este comportamiento a medida que crece el número de situaciones de elección incluidas en el diseño. El número máximo de situaciones que debe presentarse a cada encuestado depende en gran medida del número de alternativas, atributos y niveles de los mimos involucrados en el experimento. Aunque en ningún caso debe ser superior a 20, en diversas publicaciones se ha empleado un máximo de 9 a 12 situaciones de elección por encuestado, considerando hasta 4 o 5 atributos con 2 o 3 niveles cada uno (Hess, Hensher & Daly, 2012).

Además de adoptar la limitación mencionada, suele emplearse también la posibilidad de mostrar las situaciones de elección de forma aleatoria, es decir, 2 individuos a los que se les presente el mismo bloque del diseño visualizarán las mismas situaciones de elección pero en orden distinto. Con esta estrategia se consigue minimizar el efecto que el orden de la visualización genera en la estimación del modelo. Esta aleatorización pone de manifiesto cuestiones muy importantes acerca de la forma en la que se recopilan los datos, ya que si se emplean encuestas en formato papel deben generarse varias versiones del ejercicio de elección PD para presentárselas a distintos individuos. Este inconveniente puede resolverse con el empleo de encuestas informatizadas CAPI (*Computer Aided Personal Interviews*), o incluso utilizando encuestas realizadas mediante soportes web. En ambos casos pueden aleatorizarse fácilmente los conjuntos de elección, recopilando la información de forma automática lo que supone mejoras logísticas importantes en el experimento, siempre y cuando las condiciones particulares de la población objeto de estudio sean las propicias para emplear este tipo de soporte.

Aunque las diferentes modalidades de recopilación de datos serán tratadas en el siguiente apartado, cabe destacar de forma previa que se ha optado por una modalidad de encuesta en papel, auto cumplimentada, del tipo encuesta de grupo. Esta tipología proporciona gran cantidad de información al analista, especialmente útil en las etapas previas a la definición de un cuestionario final. Otro aspecto determinante para la elección de este tipo de soporte es la naturaleza de la población estudiada, ya que al realizarse las encuestas a estudiantes universitarios durante el desarrollo de las clases, se obtiene un índice de rechazo muy bajo. Además, durante la realización de las encuestas se ha contado con la presencia de un encuestador formado para tal fin (en el caso de la encuesta piloto ha sido el propio doctorando). Como se ha mencionado previamente, al emplear este formato surge la necesidad de generar varias versiones de cada bloque de la encuesta para mostrar las situaciones de elección de forma aleatoria. Se ha optado por generar 3 versiones de cada uno de los bloques del diseño. El orden de presentación de las situaciones en cada una de las versiones puede verse en la tabla siguiente.

	VERSION A			VERSION B			VERSION C		
	Block 1	Block 2	Block 3	Block 1	Block 2	Block 3	Block 1	Block 2	Block 3
1st	17	18	12	20	4	1	6	27	12
2nd	9	25	19	16	26	5	17	4	19
3rd	16	22	10	8	23	2	14	24	10
4th	14	24	7	6	25	11	15	3	7
5th	13	23	2	17	3	12	8	26	2
6th	6	27	21	13	18	10	16	22	21
7th	20	3	11	14	27	21	13	18	11
8th	15	4	5	15	22	7	20	23	5
9th	8	26	1	9	24	19	9	25	1

Tabla 3.8. Orden de presentación de las situaciones de elección en función del bloque y de la versión considerada:

Encuesta piloto

3.7.5. Construcción de la encuesta

Las consideraciones empleadas para la generación de una encuesta de elección son similares a las realizadas para encuestas más generales en los términos que afectan al cómo y al cuándo se responde a las preguntas realizadas. En el presente apartado se analizan en primer lugar las cuestiones de mayor interés al respecto de forma genérica, para finalmente particularizarlas al objeto de estudio de la tesis en el apartado 3.7.5.7.

3.7.5.1. Preguntas abiertas y preguntas cerradas

Una de las primeras decisiones que deben tomarse es el tipo de preguntas empleadas en la encuesta. Las preguntas abiertas son aquellas en las que el analista da al encuestado total libertad para responderlas. Si se opta por ellas deben transcribirse las repuestas y posteriormente realizar una codificación en un número limitado de categorías con el fin de obtener una matriz de datos manejable. El principal inconveniente que presentan es la posible obtención de respuestas contradictorias, incomprensibles, confusas, genéricas o ambiguas. Por razones prácticas, de coste y viabilidad, esta tipología ha ido abandonando progresivamente las encuestas por muestreo, aunque se sigue empleando para estudios con dimensión de muestra limitada o para las primeras fases de un proceso complejo (véase Corbetta, 2007, p.159).

Por otra parte, se denomina preguntas cerradas a aquellas en las que el encuestado dispone de una serie de respuestas posibles, fijadas a priori, entre las cuales debe elegir la que considere más adecuada. Con ellas se alcanza de forma inmediata el objetivo de obtener una matriz de datos de dimensión razonable, esencial en los estudios cuantitativos. Las principales ventajas de las preguntas cerradas son:

- Ofrecer el mismo marco de referencia para todos los usuarios.
- Facilita el recuerdo, sirviendo cada pregunta propuesta como apunte para el encuestado.
- Estimulan el análisis y la reflexión, ayudando al encuestado a distinguir opciones que pueden estar confusas en su mente.

Algunas de sus limitaciones básicas son las siguientes:

- Exclusión de todas las posibles repuestas no previstas por el analista.
- Las opciones de elección propuestas influyen generalmente en las respuestas, por lo que se corre el riesgo de sugerir las respuestas.
- Estas opciones propuestas pueden no tener el mismo significado para todos los usuarios: requieren una doble interpretación o comprensión por parte del encuestado, que debe entender no sólo la pregunta, sino las posibles respuestas.

3.7.5.2. Modalidades de recopilación de datos

El modo de presentar el cuestionario a los encuestados condiciona en gran parte el instrumento empleado o formato considerado (encuestas en papel, cuestionario informatizado, aplicaciones web, etc.). Existen varias modalidades de recopilación de datos en función de las características anteriores, las cuales se describen a continuación.

ENTREVISTAS CARA A CARA

En ellas el entrevistador desempeña un papel fundamental. La calidad de la información obtenida en la entrevista depende en gran medida de su actuación y del modo en que plantea y conduce su relación con el entrevistado.

Es necesario estandarizar su comportamiento precisando lo máximo posible su actuación. Para conseguir minimizar los posibles efectos generados por el entrevistador, estos deben presentar una serie de rasgos:

- **Características:** los manuales de investigación social ofrecen mucha información sobre las características físicas de los entrevistadores, desde el sexo (preferiblemente mujeres), estatus social deseable (ligeramente superior al de los entrevistados), edad (intermedia), etc. (para más información véase Corbetta, 2007, pp. 179-181).
- **Expectativas:** el entrevistador debe acudir desprovisto de cualquier tipo de expectativa o prejuicio en la medida de lo posible. Si por ejemplo el entrevistador percibe que el usuario está poco informado tiende a plantear las preguntas de forma apresurada, aceptando sin vacilación gran cantidad de respuestas del tipo “NS/NC”.
- **Motivaciones:** es sumamente importante la disposición psicológica del entrevistador con respecto a su trabajo, debido a los mecanismos de interacción visible e influencia inconsciente que ejerce a través de gestos, miradas y tonos de voz.

ENTREVISTAS TELEFÓNICAS

Las principales ventajas que presentan son las siguientes:

- Permiten realizar encuestas con gran rapidez.
- Conllevan costes muy inferiores en comparación con las anteriores.
- Provocan menos rechazo debido a la garantía de anonimato.
- Facilitan el trabajo de preparación y supervisión de los entrevistadores.
- Permiten utilizar directamente el ordenador en la fase de recopilación de datos, al que también puede asociarse el uso del teléfono (CATI, *Computer Aided Telephone Interview*).

Como inconvenientes pueden destacarse:

- La falta de contacto personal con el encuestado suele conllevar una menor implicación del mismo, por lo que se obtienen respuestas superficiales, apresuradas e incluso puede que en ocasiones se realicen al azar.
- La relación con el entrevistador se deteriora más rápido por lo que deben tener menor duración. Esto implica preguntas simplificadas y sintéticas.
- Resulta imposible emplear material visual para la entrevista.
- No es posible registrar datos no verbales.
- Algunos sectores sociales podrían quedar excluidos de la muestra.

CUESTIONARIOS AUTO CUMPLIMENTADOS

Son aquellos que el usuario cumplimenta sin la ayuda del entrevistador. Por tanto, una de las ventajas evidentes es el ahorro que supone en los costes de la investigación.

La principal limitación de esta técnica es también obvia, ya que si anteriormente la encuesta era cubierta por el entrevistador, formado y preparado para tal efecto, difícilmente se cometerían errores. En este caso no es posible tener esta certeza.

Existen 2 tipos de cuestionarios auto cumplimentado:

- Encuestas de grupo: por ejemplo, una clase de estudiantes que realiza el cuestionario con el apoyo del profesor u otra persona dispuesta a resolver las dudas que pudieran surgir. Esta variante reduce considerablemente las limitaciones mencionadas.
- Encuesta individual: se distingue entre situaciones con obligación de devolución del cuestionario (por ejemplo, encuestas censales o del INE), y sin obligación de devolución (la más empleada suele ser el cuestionario postal).

ENTREVISTAS INFORMATIZADAS

Con esta técnica desaparecen las fases de codificación e introducción de datos, ya que se producen en el contexto de la entrevista. A esta ventaja se añade la agilización en el uso de cuestionarios complejos (preguntas condicionadas, planteadas a subconjuntos de la muestra, secuencias de respuestas variadas de forma aleatoria, etc.), gracias a las posibilidades que ofrece el ordenador de gestionar la encuesta según la programación previa.

Otra técnica empleada en esta tipología es la encuesta telemática, en la que no es el entrevistador, sino el propio encuestado el que lee las preguntas en la pantalla e introduce las respuestas (por ejemplo, formularios web).

La ventaja más clara es la eliminación de la figura del entrevistador, a la que se añade otra de gran importancia: la posibilidad de recopilar datos en diferentes espacios temporales (datos de panel). Como problemas principales se destacan las mismas limitaciones que presenta el cuestionario auto cumplimentado.

3.7.5.3. Contextos de elección

Todas las decisiones que tomamos como seres humanos están sujetas a un contexto de elección. Por ejemplo, en cuanto al modo de transporte, el contexto es muy distinto para viajes realizados con motivos laborales/de estudios y para los viajes que forman parte del tiempo de ocio. Por tanto al analista puede asaltarle la siguiente pregunta: ¿es posible incluir ambos contextos en la misma muestra? Esto dependerá del problema objeto de estudio. En ocasiones puede ser interesante generar 2 versiones de encuesta diferentes para los distintos contextos estudiados.

Una forma clara de definir el contexto en el cual los usuarios deben tomar las decisiones requeridas es la narración de una historia descriptiva, en la que se explique el contexto de elección de cada una de las alternativas disponibles.

3.7.5.4. Independencia de las situaciones de elección

Un problema de estos diseños es la necesidad de que los encuestados traten la elección realizada en cada una de las situaciones de elección de forma independiente. Esta condición es difícil de cumplir en los cuestionarios presentados en formato papel, donde el usuario puede visualizar simultáneamente todos los escenarios e incluso reconsiderar elecciones ya tomadas realizadas tras finalizar el experimento.

Para mitigar los efectos de esta limitación empleando cuestionarios en formato papel solamente puede realizarse la petición expresa a los encuestados de que consideren como independientes las situaciones de elección presentadas.

3.7.5.5. Número de situaciones de elección por individuo

Captar varias elecciones en lugar de una sola es algo que se realiza de forma habitual en modelización del transporte. Esta técnica presenta las siguientes ventajas:

- Se consiguen los resultados correspondientes a 2 o más experimentos de elección con los costes que conlleva uno.
- Es posible observar los cambios que se producen en la elección de un individuo ante diferentes valores de los niveles de los atributos (aproximándose a lo que sería una encuesta con datos de panel PR, frente a los datos obtenidos mediante una simple sección transversal).

- El hecho de contar con varias elecciones de un único encuestado permite estimar la distribución de los coeficientes aleatorios en modelos del tipo ML.

Esta estrategia puede emplearse de varias formas, por ejemplo, pivotando los valores de los niveles de atributos sobre los valores obtenidos de la alternativa que actualmente elige el usuario; o también presentando distintos escenarios de elección en los que la principal diferencia entre ellos sea el número de alternativas disponibles.

3.7.5.6. Alternativa “no elección”

El analista puede dar al encuestado la opción de no elegir ninguna de las alternativas mostradas. Esta es una visión bastante realista del problema de elección, ya que en cualquier contexto el usuario podría preferir alguna alternativa que, o bien el analista no ha considerado, o bien no le ha sido asignada como disponible.

La principal ventaja de este enfoque es que dota de mayor realismo al experimento, y posibilita que el usuario no tome decisiones de manera forzada, diferentes a las que en realidad haría. El inconveniente más destacado es que si el analista solamente dispone de este tipo de información no podrá realizar estimaciones del comportamiento de los individuos.

Incluir o no esta opción depende fundamentalmente del objetivo perseguido con el diseño. Si el objetivo es estimar la cuota de mercado de varias alternativas de transporte existentes dentro de un contexto dado, es preferible introducir esta opción. Sin embargo, si lo que se pretende es estudiar la influencia que tienen diferentes atributos sobre la variable elección, incluyendo alternativas que no existen en la actualidad, esta opción no es aconsejable.

3.7.5.7. Construcción de la encuesta piloto adoptada

En esta investigación se ha optado por emplear cuestionarios en el que se presentan preguntas cerradas y semi-cerradas. Se trata de un cuestionario auto cumplimentado en formato papel, con varias versiones para evitar el efecto del orden de presentación de las situaciones de elección en la medida de lo posible. La decisión de emplear esta modalidad para la recopilación de datos se fundamentó en una investigación realizada por el doctorando, en la que se realizaron encuestas mediante 2 estrategias: en primer lugar un cuestionario realizado en soporte táctil en el que se interceptaba a los

encuestados en el modo de transporte, y con la asistencia de un encuestador que participaba de forma activa; y en segundo lugar un cuestionario auto cumplimentado en papel, en el que se captaba a los encuestados en sus centros de trabajo y retornaban el mismo cubierto a través de correo postal pre franqueado. El ratio de respuesta fue muy superior mediante la segunda estrategia, mediante la que se obtuvieron un 60% de las encuestas recogidas con una cantidad de recursos muy inferior a los empleados para la primera estrategia de captación de datos (Anta, Pérez-López, Martínez-Pardo, Novales & Orro, 2016).

Entre los principales motivos de la alta aceptación del cuestionario en papel cubierto en destino destacan los siguientes:

- Se permitió a los encuestados realizar el cuestionario sin las presiones de un tiempo tan limitado como en la primera estrategia. Mientras que con las encuestas en papel apenas hubo encuestas con apartados incompletos, en la encuesta en soporte táctil muchas encuestas quedaron incompletas debido a que se llegaba al destino del encuestado antes de poder finalizarla.
- Se realizaba en un ambiente conocido (en casa o en el centro de trabajo), frente a las tensiones asociadas a un desplazamiento diario por motivos diferentes al ocio, y que afectaron al índice de rechazo.
- En la encuesta en papel auto cumplimentada no existía la incomodidad de desvelar información personal (socioeconómica) de forma directa frente a una persona desconocida (encuestador o los propios viajeros sentados en un asiento próximo, para el caso del transporte público).

El cuestionario piloto consta de 2 partes diferenciadas en la que se recopilan datos PR y datos PD. En la primera sección se realizan una serie de preguntas relativas al viaje realizado el mismo día desde el domicilio del encuestado hasta el campus, y también se preguntan algunas características socioeconómicas. El contenido de esta sección se tratará en el capítulo 4 y puede verse la presentación de la misma en el anexo A3.

En la segunda sección se presenta el ejercicio de elección PD en el que se plantean a cada encuestado 9 situaciones de elección. Se recuerda que se ha optado por captar una mayor cantidad de datos a través de 2 medidas adicionales que no suponen apenas consumo de recursos a la hora de realizar la encuesta, enriqueciendo sustancialmente la información obtenida:

- Considerar 2 escenarios de elección: en el escenario A se presentan como disponibles las alternativas de transporte público mientras que en el escenario

B también se considera el vehículo privado. El segundo de los escenarios solamente lo deben cubrir aquellas personas que tienen disponible el coche para sus desplazamientos habituales al campus.

- Realizar 2 experimentos: en el primero de ellos se presentan todos los atributos mencionados, mientras que en el segundo no se tiene en cuenta el atributo tipo de transporte público.

Por lo tanto el número de alternativas y atributos a considerar por cada encuestado vendrá determinado por el experimento correspondiente al cuestionario que se le haya sido entregado, así como al escenario de entre los 2 posibles al que esté respondiendo en ese momento. Para introducir al encuestado en el contexto de elección se le facilita una historia descriptiva del ejercicio en cuestión, estando presente un encuestador en todo momento para resolver las posibles dudas que puedan presentarse. A continuación se presenta el relato descriptivo correspondiente al experimento 1:

En este apartado pedimos tu colaboración en un ejercicio de elección que consta de 9 situaciones posibles para un desplazamiento similar al que habitualmente podrías realizar al campus. Se presentan dos escenarios de elección:

- ✓ *El primero de ellos (Escenario A) debe ser tenido en cuenta por todos los encuestados*
- ✓ *El segundo caso (Escenario B) debe ser cubierto solamente por las personas que dispongan de la alternativa coche (conductor o acompañante) para sus desplazamientos al campus.*

A continuación se presentan las situaciones de elección, para las que se ruega un trato independiente:

****El coste para la alternativa coche solamente comprende el coste de aparcamiento en destino. Considérese que el resto de costes (combustible, mantenimiento, etc.) también deben ser abonados.***

***** Los Tipos de Transporte Público se definen en el cuadro situado a la derecha de este texto.***

El relato correspondiente al experimento 2 es idéntico excepto porque se excluyen todas las alusiones al atributo tipo de transporte público. El formato final de presentación de cada una de las situaciones de elección se muestra en la siguiente figura:

SITUACIÓN 7			
	COCHE	BUS	TRANVÍA
Tiempo de viaje (min)	19	20	24
* Coste (€)	0	1.45	1.45
Intervalo entre vehículos (min)	x	5	5
Trasbordos (nº)	x	1	0
** Tipo de transporte	x	Nivel 1	Nivel 2
Escenario A	<input type="checkbox"/> Elijo Bus <input type="checkbox"/> Elijo Tranvía		
Escenario B	<input type="checkbox"/> Elijo Coche	<input type="checkbox"/> Elijo Bus	<input type="checkbox"/> Elijo Tranvía

Fig. 3.5. Presentación de una situación de elección para el experimento 1 en la encuesta piloto

3.7.6. Resultados obtenidos mediante la encuesta piloto

Se ha realizado la encuesta piloto a un total de 113 alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos ubicada en el Campus de Elviña (A Coruña).

La encuesta se ha realizado durante las clases impartidas en 2 asignaturas correspondientes al primer y último curso del Grado de Ingeniería de Obras Públicas y de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, respectivamente, entregándose de forma aleatoria cuestionarios pertenecientes a diferentes versiones y bloques de los 2 experimentos planteados.

Con la realización de esta encuesta piloto se persiguieron 2 objetivos: en primer lugar, validar tanto el formato como el contenido de las preguntas realizadas; y en segundo lugar, obtener valores iniciales de los parámetros asociados a los atributos que serán empleados en un diseño experimental eficiente posterior.

En relación al primer objetivo, las principales conclusiones obtenidas se muestran en el anexo A4, y pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Puede ser conveniente recopilar ciertas variables PR que indiquen el grado de conocimiento del sistema de transporte público de la ciudad por parte del encuestado.
- Todos los encuestados cubrirán los 2 escenarios para el ejercicio propuesto.
- Se indicará de forma explícita el tiempo adicional de viaje debido a las variaciones ocasionales por el tipo de transporte público empleado. Del mismo

modo, se explicitará un posible aumento del tiempo de viaje en coche debido a la congestión.

- Las etiquetas mostradas para los niveles o categorías del atributo tipo de transporte público (1, 2 y 3, de menor a mayor calidad en el servicio, respectivamente) no indican de forma inequívoca el nivel que tiene una mayor o menor calidad en el servicio. Para evitar posibles confusiones a este respecto, se propone el cambio de estas etiquetas por “C, B y A”, mediante las cuales se aprecia de forma más intuitiva que una calidad de servicio tipo “A” es mejor que una calidad en el servicio tipo “C”.

En cuanto al segundo objetivo, se ha realizado un procedimiento de búsqueda iterativo a partir del cual se obtuvo un modelo logit multinomial (MNL) de referencia para el diseño experimental eficiente. Se han considerado de forma simultánea los 2 escenarios propuestos (A y B) en la estimación de modelos independientes para cada experimento. La especificación de las funciones de utilidad de las alternativas para el experimento 1 es análoga a la mostrada en la expresión (3.9), con la salvedad de que en este caso el intervalo entre vehículos y el número de transbordos se consideró genérico para las alternativas de transporte público. Esto es equivalente a decir que $\beta_{F,2} = \beta_{F,3} = \beta_F$ y $\beta_{NT,1} = \beta_{NT,2} = \beta_{NT}$.

$$\begin{aligned} V_1 &= \beta_{T,1} \cdot T_1 + \beta_{C,1} \cdot C_1 \\ V_2 &= ASC_2 + \beta_{T,2} \cdot T_2 + \beta_{C,2} \cdot C_2 + \beta_F \cdot F_2 + \beta_{NT} \cdot NT_2 + \beta_{L2,2} \cdot L2_2 + \beta_{L3,2} \cdot L3_2 \\ V_3 &= ASC_3 + \beta_{T,3} \cdot T_3 + \beta_{C,3} \cdot C_3 + \beta_F \cdot F_3 + \beta_{NT} \cdot NT_3 + \beta_{L2,3} \cdot L2_3 + \beta_{L3,3} \cdot L3_3 \end{aligned} \quad (3.10)$$

En la especificación del experimento 2 se considera que $\beta_{L2,2} = \beta_{L2,3} = \beta_{L3,2} = \beta_{L3,3} = 0$, dado que el atributo tipo de transporte público no está presente en el mismo:

$$\begin{aligned} V_1 &= \beta_{T,1} \cdot T_1 + \beta_{C,1} \cdot C_1 \\ V_2 &= ASC_2 + \beta_{T,2} \cdot T_2 + \beta_{C,2} \cdot C_2 + \beta_F \cdot F_2 + \beta_{NT} \cdot NT_2 \\ V_3 &= ASC_3 + \beta_{T,3} \cdot T_3 + \beta_{C,3} \cdot C_3 + \beta_F \cdot F_3 + \beta_{NT} \cdot NT_3 \end{aligned} \quad (3.11)$$

Los valores de los parámetros o coeficientes obtenidos en la modelización se muestran en la siguiente tabla:

Name	Experiment 1			Experiment 2		
	Value	t-test	Sig.	Value	t-test	Sig.
ASC _{car}	0	--fixed--	-	0	--fixed--	-
ASC _{bus-based}	1.2	0.563	42.68%	1.76	0.724	53.11%
ASC _{rail-based}	2.51	1.106	73.12%	2.95	1.204	77.14%
Time _{car}	-0.202	-1.942	94.79%	-0.381	-3.313	99.91%
Time _{bus-based}	-0.145	-2.736	99.38%	-0.195	-3.750	99.98%
Time _{rail-based}	-0.145	-2.736	99.38%	-0.191	-3.673	99.98%
Cost _{car}	-0.485	-1.422	84.51%	-0.763	-1.987	95.31%
Cost _{bus-based}	-2.96	-4.211	99.99%	-4.22	-5.813	99.99%
Cost _{rail-based}	-4.16	-5.253	99.99%	-5.35	-6.833	99.99%
Frequency	-0.08	-2.759	99.42%	-0.149	-5.138	99.99%
Transfer	-0.731	-4.747	99.99%	-1.1	-6.748	99.99%
Level2 _{bus-based}	0.557	2.311	97.92%	-	-	-
Level2 _{rail-based}	0.38	1.564	88.21%	-	-	-
Level3 _{bus-based}	1.3	5.603	99.99%	-	-	-
Level3 _{rail-based}	1.02	4.113	99.99%	-	-	-
Parameters		14			10	
Observations		745			725	
Null log-likelihood		-636.412			-597.005	
Final log-likelihood		-422.501			-400.757	

Tabla 3.9. Valores de los parámetros asociados al modelo MNL de referencia obtenido a partir de la encuesta piloto

Todos los aspectos relacionados con el modelo de referencia para el posterior diseño experimental eficiente se describen detalladamente en el anexo A5.

3.8. Diseño experimental eficiente: encuesta final

3.8.1. Introducción

Tal y como se mencionó en anteriores apartados, al utilizar diseños experimentales ortogonales no se tiene en cuenta la eficiencia estadística en el proceso de obtención de las situaciones de elección características del experimento. Por el contrario, un diseño experimental se considera eficiente cuando la información que proporciona permite la estimación de parámetros con un error estándar tan bajo como sea posible teniendo en cuenta el tamaño de la muestra empleada. Según Bradley (2009), los diseños eficientes no se habían usado mucho en estudios con datos PD, hasta el momento en el que publica su documento de revisión, por las siguientes razones:

- Los analistas no eran muy conscientes de los métodos de diseño, del contexto y de la forma de aplicarlos.

- El número de atributos y alternativas en la práctica es a menudo sustancialmente mayor que en los ejemplos que pueden encontrarse en la literatura relacionada con estos métodos.
- Los diseños eficientes pueden proporcionar una identificación muy eficiente de los parámetros para tamaños de muestra muy pequeño. Sin embargo, en los estudios PD para proyectos de predicción de la demanda empleados en la toma de decisiones políticas el tamaño de la muestra suele ser elevado, mucho mayor que el de los ejemplos encontrados en la literatura. La cuestión de la eficiencia en la estimación es menos relevante a medida que crece el tamaño de la muestra.
- Estos métodos funcionan bien cuando el analista dispone de estimaciones previas bastante precisas de los coeficientes relacionados con los atributos. Este hecho no era habitual en la práctica, por lo que no quedaba claro si los diseños eficientes u óptimos se comportarían mejor que los ortogonales.

Esta tendencia se ha visto modificada por una serie de motivos, de entre los que destacan los siguientes:

- A medida que avanzan las investigaciones en este campo existe un mayor número de documentos que proporcionan información previa sobre los valores de los parámetros, la cual es necesaria para el correcto funcionamiento de estos diseños.
- Un desarrollo informático con evolución casi exponencial, lo que desemboca en una gran reducción de tiempos de computación para diseños complejos.
- Este tipo de diseños presentan menores limitaciones en cuanto al tamaño del experimento que los diseños ortogonales.
- Es posible mantener la independencia entre algunos atributos cuando esta propiedad se considere representativa del caso de estudio (Bliemer, Rose & Hensher, 2009).

3.8.2. Metodología para el desarrollo de diseños eficientes

La referencia principal empleada para este tipo de diseño es la revisión realizada por Rose y Bliemer (2009). Existen multitud de publicaciones que tratan diferentes aspectos relacionados con este tema mediante estudios de casos en diferentes ámbitos, como por ejemplo, Lancsar y Louviere (2003) en el campo de la salud; Kessels, Goos y Vandebroek (2006) en el marketing; Hensher y Rose (2007) estudian

su aplicación en la toma de decisiones relacionadas con infraestructuras de transporte; Louviere, Street, Burgess, Wasi, Islam y Marley (2008) se centran en la importancia de la información previa al diseño, ilustrándola con un estudio basado en viajes transcontinentales; y Bliemer y Rose (2011) analizan la influencia del tamaño de muestra en los resultados a través de un estudio en el que se consideran viajes en avión. En todas ellas se tratan ciertas características de las diferentes fases del proceso de generación de diseños eficientes, que se presentan a continuación.

3.8.2.1. Matriz de covarianza

En una estimación convencional de la elección modal con datos PD se conocen los valores de los atributos (X), puesto que es una decisión tomada por el analista a la hora de diseñar el experimento. Posteriormente se obtienen los resultados de elección de la encuesta (Y), y con ellos es posible estimar los coeficientes (β) incluidos en la modelización.

El procedimiento a seguir para generar un diseño eficiente es precisamente el inverso, es decir, se asumen unos valores previos para los coeficientes estimados (que pueden ser fijos o variables), y se calculan los valores de los atributos que minimizan los errores estándar de los estimadores. Este procedimiento inverso de obtención de un diseño eficiente es más complejo que el proceso de estimación (Bliemer & Rose, 2010, p. 723).

Estos errores estándar pueden calcularse mediante la determinación de la matriz asintótica de covarianza (*Asymptotic Variance Covariance*, AVC). Debido a lo indicado anteriormente, esta matriz depende de los valores de los atributos en el diseño experimental (X), de los valores de los parámetros (β) y de los resultados de la encuesta (Y). Dado que los valores de los parámetros reales β no son conocidos, se emplean valores previos aproximados de los parámetros ($\tilde{\beta}$) asociados a los atributos. Por este motivo cualquier información respecto a estos valores previos es útil (aunque solamente se trate de una predicción del signo que estos deberían presentar). Para este propósito suele emplearse información obtenida en investigaciones previas, estudios piloto o cualquier otro tipo de hipótesis relacionadas con el problema de estudio particular.

La matriz de covarianza para Q individuos (Ω_Q) se construye como la inversa de la matriz de información de Fisher (I_Q), que se define como el Hessiano previsto de la función de log-verosimilitud para el modelo logit correspondiente (Train, 2009, p. 186).

$$\Omega_Q(X, Y, \tilde{\beta}) = -\left[E\left(I_Q(X, Y, \tilde{\beta}) \right) \right]^{-1} = -\left[\frac{\partial^2 LL_Q(X, Y, \tilde{\beta})}{\partial \beta \partial \beta'} \right] \quad (3.12)$$

I_Q es la matriz de información de Fisher para Q individuos, mientras que $LL_Q(X, \tilde{\beta})$ es la función de log-verosimilitud para Q individuos y que se define de la siguiente forma:

$$LL_Q(X, Y, \tilde{\beta}) = \sum_{q=1}^Q \sum_{s=1}^S \sum_{j=1}^J y_{jqs} \log P_{jqs}(X, \tilde{\beta}) \quad (3.13)$$

Donde P_{jqs} es la probabilidad de que el individuo j elija la alternativa q en la situación s e y_{jqs} vale 1 si la alternativa j ha sido elegida por el individuo q en la situación de elección s y cero en otro caso.

Esta formulación es válida y se mantiene para todos los modelos de la familia logit empleados en esta tesis (MNL, NL y ML), variando solamente el término de la probabilidad (P_{jqs}) en función del modelo considerado.

3.8.2.2. Medidas de eficiencia

En la literatura se han propuesto diferentes medidas de eficiencia que tienen como objetivo calcular un valor denominado habitualmente error de eficiencia. Dado que estos valores o errores de eficiencia constituyen realmente un indicador de la “ineficiencia”, el objetivo perseguido con el diseño es el de minimizar este error (y por lo tanto maximizar la eficiencia). La medida más utilizada es la denominada como *D-error*, del cual existen diferentes tipos en función de la información previa disponible de los valores de los parámetros (Rose, Bliemer, Hensher & Collins, 2008). En todos los casos suele tomarse el determinante de la matriz AVC para un único individuo (Ω_1) por simplicidad operativa, aunque puede emplearse la matriz AVC para cualquier otro tamaño de muestra sin que se produzca ningún tipo de consecuencias negativas. Considerando K como el número de parámetros estimados se definen los diferentes tipos de *D-error*:

- D_z -error: se utiliza cuando no existe información previa disponible de los parámetros (z corresponde a la palabra zero).

$$D_z - error = \det(\Omega_1(X, 0))^{1/k} \quad (3.14)$$

- D_p -error: se utiliza cuando existe información previa disponible de los parámetros, relativamente precisa y que se acepta como cierta, por lo que se considera un valor constante para los parámetros previos (p corresponde a la palabra priors).

$$D_p - error = \det(\Omega_1(X, \tilde{\beta}))^{1/k} \quad (3.15)$$

- D_b -error: se utiliza cuando existe información previa disponible de los parámetros, aunque esta presenta cierta incertidumbre (enfoque bayesiano, b corresponde a la palabra bayesian). En este caso el valor previo de los parámetros se supone como una variable aleatoria con función de densidad de probabilidad conjunta $\phi(\cdot)$ con parámetros subyacentes ζ dados.

$$D_b - error = \int \det(\Omega_1(X, \tilde{\beta}))^{1/k} \phi(\tilde{\beta}|\zeta) d\tilde{\beta} \quad (3.16)$$

Existen otras medidas de eficiencia aunque no se han utilizado tanto en la práctica (Kessels et al., 2006), como por ejemplo: el A -error, que es sensible a los cambios en el parámetro de escala y solamente emplea la traza de la matriz AVC; el S -error, empleado para comparar diseños con diferentes tamaños de muestra; y el C -error, útil a la hora de trabajar con ratios de 2 parámetros.

3.8.2.3. Importancia de la información previa sobre los valores de los parámetros

Un diseño en el que se tenga en cuenta el D -error es sensible a los valores previos que se suponen en los parámetros (o en la posible distribución de los mismos). Rose y Bliemer (2009) estudian la influencia de estos valores en la eficiencia finalmente obtenida, comparando los resultados alcanzados para varios tipos de diseños experimentales. La conclusión más destacable es que los diseños experimentales

eficientes siempre se muestran más robustos que los diseños experimentales ortogonales, siendo esto cierto aunque se considere el óptimo² de los diseños factoriales fraccionales equivalentes.

A la hora de realizar un estudio del reparto modal basado en un diseño experimental eficiente, es preferible utilizar una muestra de tamaño más limitado pero teniendo cierta confianza en los valores previos para los parámetros utilizados (D_p -error), que el emplear una muestra más grande pero sin información respecto a los valores previos de los parámetros (D_e -error). Una medida que puede desarrollarse cuando no se tiene excesiva confianza en uno o varios de los valores previos de los parámetros, es la de realizar un análisis de sensibilidad. Posteriormente puede optarse por recopilar más información relativa a aquellos parámetros que hayan mostrado una influencia elevada en la eficiencia del diseño, o bien puede realizarse un diseño totalmente nuevo con el objetivo de ganar robustez en el diseño experimental, aunque esto pueda derivar en una pérdida parcial de eficiencia. Kanninen (2002) propone un enfoque intermedio en el que se considera un proceso continuo de actualización, una vez que se han recogido algunos datos en el trabajo de campo, estimando parámetros más precisos a medida que se prosigue con la recogida de datos de forma simultánea.

Otra forma de minimizar en la medida de lo posible los efectos de no disponer de un conocimiento exhaustivo de los valores de los parámetros es adoptar un enfoque bayesiano (D_b -error). Con esta estrategia debe evaluarse la eficiencia del diseño para los posibles valores de los parámetros mediante simulación, calculándola a partir de extracciones tomadas de las distribuciones que se han supuesto a priori para los mismos. Bliemer, Rose y Hess (2008) realizan una revisión de estos métodos de extracción (simulación de Monte Carlo, extracciones pseudo-aleatorias, series Halton, series Sobol, cuadratura de Gauss, etc.). El número de extracciones que deben realizarse para obtener resultados robustos depende del método empleado. Si este número de extracciones es muy elevado, el tiempo de computación puede resultar innecesariamente alto (Kessels et al., 2006).

² Un diseño se considera como óptimo cuando presenta la mayor eficiencia posible considerando el fenómeno estudiado y todos los aspectos que lo caracterizan (alternativas, atributos, niveles de atributo, balance en los niveles, especificación de las funciones de utilidad, tipo de modelo, etc.)

3.8.2.4. Tipo de modelo de elección discreta empleado

Los modelos de elección discreta más empleados en la investigación relacionada con el ámbito de estudio, y que además han sido considerados en la presente investigación (MNL, NL y ML), tienen estructuras de correlación muy diferentes por lo que darán lugar a distintas matrices AVC. Los diseños generados a partir de un modelo tipo logit concreto perderán eficiencia de forma general si posteriormente la estimación se realiza con otro modelo logit diferente, por lo que se obtendrán mayores errores estándar asociados a los parámetros estimados. Entre los estudios que analizan esta problemática cabe destacar el de Bliemer et al. (2009), en el que se realiza una comparación de diseños optimizados a partir de un modelo NL frente a diseños en los que se emplean modelos MNL para dicha optimización. Sandor y Wedel (2002), también realizan una interesante revisión de la formulación del modelo ML teniendo en cuenta datos de sección transversal a partir de diseños optimizados con diferentes modelos logit.

Aunque es preferible conocer la tipología de modelo que va a emplearse en la estimación posterior, esto no siempre es posible debido a las propias características que definen todo proceso investigador. Rose y Bliemer (2009, p. 612), basándose en otras investigaciones así como en su propia experiencia, concluyen que los diseños eficientes basados en un modelo MNL se ajustan bien a posteriores modelizaciones NL o ML con datos de panel. Sin embargo si se estiman modelos ML con datos de sección transversal, un diseño eficiente basado en un modelo MNL no es recomendable.

8.3.2.5. Balance en la utilidad

Cuando los encuestados eligen cada una de las alternativas de transporte en las diferentes situaciones de elección están proporcionando al analista la información necesaria para estimar modelos de reparto modal. Cada una de estas respuestas supone una pequeña pieza de información que aporta al modelo cierta capacidad para explicar el fenómeno estudiado. Esta capacidad explicativa se relaciona con la utilidad de cada una de las alternativas, que como se ha visto en apartados anteriores, es un escalar cuyo valor determina cuál será la alternativa elegida en función de los valores considerados para los atributos.

El concepto balance en la utilidad de las alternativas está directamente ligado con los valores de los atributos que se muestran a los encuestados en cada situación de elección, y por lo tanto, a la variabilidad en los valores de los atributos presentados en la encuesta. Por ejemplo, cuando un encuestado elige una alternativa dominante, la información que proporciona esa situación de elección no es relevante para la estimación de los parámetros asociados a los atributos influyentes del modelo. En este caso la utilidad de la alternativa elegida es muy superior a la del resto de las alternativas (en lo que a ese encuestado se refiere). En el caso contrario, es decir, cuando todas las alternativas tienen la misma utilidad observada, tampoco se obtiene una información especialmente valiosa para la modelización, puesto que los encuestados no pueden manifestar una preferencia clara hacia una de las alternativas, pudiendo realizar su elección de forma aleatoria.

Por lo tanto, tal y como sucede en otros aspectos de los diseños experimentales, debe encontrarse un equilibrio entre la búsqueda del objetivo último en el diseño y el realismo mostrado a los encuestados en las situaciones de elección. Estos hechos son especialmente relevantes en el caso de experimentos no etiquetados, ya que para experimentos etiquetados existe la posibilidad de incorporar constantes específicas de alternativa que se encargarían de representar parte de esta capacidad explicativa. Existen en la literatura estudios detallados de la importancia del balance en la utilidad, como por ejemplo los realizados por Hubber y Zwerina (1996) y Kanninen (2002).

La forma de cuantificar el balance en la utilidad (UB_s) para una situación de elección s se define como:

$$UB_s = \prod_{j=1}^J \left(\frac{P_{js}}{1/J} \right) \cdot 100\% \quad (3.17)$$

Siendo j cada una de las J alternativas disponibles y P_{js} la probabilidad de elegir la alternativa j en la situación s . El balance de utilidad de todo el diseño (UB) se calcula como la media del balance de utilidad de todas las situaciones de elección (Kessels et al., 2006).

8.3.2.6. Algoritmos para la generación de diseños eficientes

A la hora de realizar la búsqueda sistemática del diseño de forma eficiente se recurre a una serie de algoritmos, que pueden ser de 2 tipos diferentes:

- Algoritmos basados en filas: se extraen situaciones de elección de un subconjunto predefinido de las mismas (por ejemplo, un diseño ortogonal). Localizan y desechan rápidamente las situaciones inapropiadas en cada extracción, aunque empleándolos resulta difícil mantener el balance en los niveles de atributos.
- Algoritmos basados en columnas: se seleccionan los niveles de atributo de entre todas las situaciones de elección para cada atributo. Con estos algoritmos resulta más fácil mantener el balance de los niveles de atributo y al tratarse de algoritmos más flexibles son más adecuados para diseños más complejos. Sin embargo no son recomendables cuando se requiere generar diseños con alternativas no etiquetadas.

El algoritmo basado en filas más empleado es el algoritmo modificado de Federov (Cook & Natchsheim, 1980). Extrae situaciones de forma aleatoria generando diferentes diseños eficientes y calcula la eficiencia para cada uno de ellos. En problemas pequeños puede emplearse como conjunto de extracción un diseño ortogonal completo, mientras que si el problema tiene una dimensión mayor se recomienda emplear un diseño factorial fraccional. El algoritmo se detiene cuando se han evaluado todas las situaciones de elección, o bien después de que se alcance un número predeterminado de iteraciones.

En cuanto a los algoritmos basados en columnas, los más empleados son los del tipo RSC (*Relabelling, Swapping y Cycling*), bien sea de forma independiente o considerándolos conjuntamente (Sandor & Wedel, 2001). En cada iteración se generan columnas diferentes para cada atributo y se evalúa la eficiencia de los nuevos diseños. Si el error en el nuevo diseño es menor que el del anterior, este se toma como base para la siguiente iteración. El procedimiento para generar nuevas columnas puede ser de varios tipos, y viene determinado por el tipo de algoritmo. Las columnas se generan intercambiando 2 o más niveles de 2 atributos (*relabelling*), permutando 2 de los niveles de 2 atributos (*swapping*) o con una permutación cíclica de todos los niveles de 2 atributos (*cycling*).

3.8.2.7 Resumen de etapas en la generación de diseños eficientes

A continuación se muestra el orden cronológico de las decisiones que deben adoptarse para generar un diseño eficiente (Rose et al., 2008, p. 404).

- FASE 1: Especificación de las funciones de utilidad del modelo que se quiere estimar con los datos recopilados, incluyendo los valores previos de los parámetros y el modelo elegido.
- FASE 2: Completar de forma aleatoria la matriz del diseño o matriz de los valores de los atributos implicados (X), en al menos tantas filas como grados de libertad y tantas columnas como atributos se consideren.
- FASE 3: Calcular las probabilidades de elección de cada alternativa.
- FASE 4: Calcular la matriz de covarianza (AVC) mediante simulación de Monte Carlo o determinando directamente las segundas derivadas de la función log-verosimilitud.
- FASE 5: Evaluar la eficiencia estadística del diseño mediante las medidas de eficiencia consideradas: *D-error*, *A-error*, etc.
- FASE 6: Tomar el diseño obtenido como base de partida y repetir los pasos englobados de la fase 3 a la fase 5, empleando algoritmos basados en filas o en columnas. Tras comprobar todas las posibilidades, o bien tras un número de iteraciones predeterminado, se obtiene el diseño con mayor eficiencia teniendo en cuenta las restricciones impuestas a priori.

3.8.3. Generación del diseño eficiente

En este diseño experimental se toman como base los conocimientos adquiridos mediante el diseño ortogonal realizado previamente. En el presente apartado solamente se hará hincapié en las consideraciones que difieran sustancialmente de las tomadas en el diseño ortogonal previo, puesto que muchas de sus características básicas serán muy similares.

3.8.3.1. Refinamiento de estímulos

En el diseño experimental eficiente se consideran 3 niveles de variación para todos los atributos considerados. Por lo tanto, los niveles de las variables tiempo, coste, intervalo entre vehículos y número de transbordos se equiparan a los de la variable tipo de transporte público.

3.8.3.2. Consideraciones del diseño experimental

Las especificaciones elegidas para la utilidad de las alternativas incluidas en el diseño corresponden a las expresiones (3.10) y (3.11), donde tanto el intervalo entre vehículos como el número de transbordos se consideran genéricos para las alternativas de transporte público. Además, y debido a la naturaleza de esta última variable, es necesario incluir un nuevo parámetro correspondiente al tercer nivel de la misma.

ATRIBUTO	ETIQUETA ATRIBUTO	CÓDIGO DISEÑO NIVEL	CÓDIGO ORTOGONAL NIVEL	ETIQUETA NIVEL
Tiempo	T	0	-1	Valor menor
		1	0	Valor intermedio
		2	1	Valor mayor
Coste	C	0	-1	Valor menor
		1	0	Valor intermedio
		2	1	Valor mayor
Intervalo entre Vehículos	F	0	-1	Valor menor
		1	0	Valor intermedio
		2	1	Valor mayor
Nº Transbordos	NT	0	-1	Valor menor
		1	0	Valor intermedio
		2	1	Valor mayor
Tipo de Transporte Público	L	0	-1	Definición Nivel 1 o C
		1	0	Definición Nivel 2 o B
		2	1	Definición Nivel 3 o A

Tabla 3.10. Atributos y niveles de atributo considerados en el diseño experimental eficiente para la encuesta final

De nuevo se ha tomado al coche como la alternativa de referencia, siendo el número de grados de libertad necesarios igual a 16. Fragmentando el diseño en 3 bloques se añade un grado de libertad adicional, aunque se mantiene el número de situaciones de elección en 27 con el objetivo de conseguir más información (es decir, se presentan a cada encuestado las 9 situaciones de elección correspondientes a un bloque de los 3 considerados).

3.8.3.3. Generación del diseño experimental eficiente y asignación de atributos

En la actualidad pueden encontrarse paquetes de software con los que se pueden gestionar todas las características relacionadas con cada una de las tareas del diseño experimental de forma conjunta. Este es el caso de Ngene (ChoiceMetrics, 2012), que se ha utilizado para generar el diseño eficiente presentado a continuación (versión 1.1.1).

Como aproximación inicial se realiza un diseño experimental eficiente con valores previos fijos de los parámetros (D_p -error), considerando un modelo MNL y código ortogonal para los distintos niveles de los atributos. Los valores previos empleados se obtuvieron en el estudio piloto (anexo A5). Al disponer de un ordenador dedicado en exclusiva a la computación del diseño (SONY VAIO NS21Z_S; Procesador: Intel Core 2 Duo P8600, 2.40 GHz; 4 GB DDR2 SDRAM, 2x2GB, 800MHz), no se ha considerado un tiempo límite de computación, siendo el criterio de truncamiento que no se obtengan mejoras en la eficiencia tras 25 000 iteraciones. El algoritmo de generación del diseño considerado ha sido el *swapping*, considerándose 3 bloques en el diseño y 27 situaciones de elección, tal y como se ha indicado previamente.

Los valores de las diferentes medidas de eficiencia se obtuvieron para los 2 experimentos de forma conjunta. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

MNL efficiency measures	m_{1p}	m_{2p}
D_p -error	0.489642	0.423155
A-error	1.420625	1.719138
B estimate	36.058878	23.524194
Number of iterations	24 041	10 114

Tabla 3.11. Características de eficiencia del diseño experimental inicial con valores fijos para los parámetros

En la tabla anterior m_{1p} y m_{2p} se refieren, respectivamente, a los modelos empleados para representar los experimentos de elección 1 y 2, en los que se consideran parámetros iniciales con valor fijo.

Con el objetivo de contrarrestar, en la medida de lo posible, los efectos adversos de la incertidumbre en los valores previos de los parámetros, se considera más apropiado realizar un diseño en el que estos valores sigan una distribución Normal, con los valores de media y error estándar obtenidos en el estudio piloto (enfoque bayesiano). Con ello se cubre un rango mayor de posibles valores previos de los parámetros, por lo que el diseño obtenido será más robusto. De nuevo, el diseño empleado optimiza conjuntamente los modelos de los 2 experimentos considerados previamente, mediante una modelización de tipo MNL. Se toman valores fijos para todos los parámetros excepto para el tiempo, el coste y las constantes específicas de alternativa, en los que se supone una distribución Normal para sus valores. El D_b -error conjunto será la suma de cada uno de los errores individuales. El criterio de truncamiento en este caso es de 5 000 iteraciones sin mejora en la eficiencia media, ya que en este caso el tiempo de computación por iteración es considerablemente más

elevado. El método elegido para las extracciones en la simulación de los parámetros bayesianos es la cuadratura de Gauss con 2 abscisas por parámetro, puesto que se consigue mayor eficiencia que con otros métodos, mientras que el tiempo de computación sigue siendo asumible. En la siguiente tabla pueden verse los valores característicos del diseño experimental obtenido, en comparación con diseños equivalentes en los que se emplearon extracciones mediante secuencias Halton y Sobol de 300 puntos.

Method	N Iter.	Computational time		D_b -error		
		Total	Per Iter.	m_{1b}	m_{2b}	Total
Gauss (2)	25 907	1:20:55	0.19 s	1.157	0.873	2.03
Halton (300)	15 674	0:55:23	0.21 s	1.314	0.997	2.311
Sobol (300)	19 850	1:15:57	0.19 s	1.419	1.025	2.444

Tabla 3.12. Métodos de simulación bayesiana para el diseño experimental eficiente

En la tabla anterior m_{1b} y m_{2b} se refiere, respectivamente, a los modelos empleados para representar los experimentos de elección 1 y 2, en los que se consideran valores previos de los parámetros con variación bayesiana.

Finalmente, se han analizado los 20 diseños (iteraciones) con mayor eficiencia en la búsqueda del que presenta un mejor balance en los niveles de atributo en cada uno de los bloques. Para ello se ha considerado un error o desviación que indica la variación respecto al número de veces que debe presentarse cada uno de los niveles de atributo en cada bloque de forma teórica para conseguir un balance perfecto (3 en este caso). Este valor se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B \left(\sqrt{\frac{(n_{lab} - L)^2}{A}} \right) / B \quad (3.18)$$

siendo:

n_{lab} el número de veces que el nivel l del atributo a se presenta en el bloque b
 L , A y B son el número de niveles de atributo, de atributos y de bloques, respectivamente

En el anexo A6 se muestra el proceso de selección del diseño experimental en profundidad, aclarando en mayor medida las implicaciones que conllevan los diferentes valores del error en el balance de los niveles de atributo en cada bloque. En

la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para la iteración que presenta el menor error de eficiencia y para la iteración que presenta el mejor balance, es decir, el menor error en el balance en los niveles de atributo por bloque:

	Model	Iter. 12 890	Iter. 25 907	Difference
D_b-error	m _{1b}	1.157	1.156	0.001
	m _{2b}	0.878	0.874	0.004
	Total	2.035	2.030	0.005
	Balance error	0.811	1.132	-0.321

Tabla 3.13. Resultados de la generación en el diseño experimental eficiente

Se observa que el valor del $D_b\text{-error}$ apenas varía entre estos 2 diseños. Sin embargo, el error en el balance de los niveles de atributo en cada bloque es bastante diferente. Esto se debe a que en el diseño con mayor eficiencia solamente se presentan perfectamente balanceados los niveles de un atributo en 2 ocasiones, mientras que en el diseño elegido (iteración 12 890) este hecho se da en 10 ocasiones. Además en el diseño con mayor eficiencia existe 1 bloque en el que no se presenta el nivel intermedio del atributo tipo de transporte para el modo ferroviario (tal y como puede observarse en el anexo A6). Por lo tanto, el diseño que se empleará en la recopilación de datos para los 2 experimentos de elección será el obtenido en la iteración 12 890. Este es el diseño experimental con el que se ha proseguido la investigación, realizando nuevas encuestas en diferentes ciudades de ámbito nacional e internacional. Se presenta el mismo en la siguiente figura.

Choice Sit.	Tcar	Ccar	Tbus	Cbus	Fbus	Ntbus	Lbus	Trail	Crail	IVrail	NTrail	Lrail	Block
1	0	1	0	-1	0	1	-1	-1	-1	0	0	-1	1
2	0	0	0	0	0	1	1	0	-1	0	-1	-1	2
3	1	-1	0	1	0	1	-1	1	0	-1	-1	-1	3
4	-1	1	-1	1	0	-1	-1	1	1	0	0	1	1
5	0	0	0	0	0	1	0	1	-1	0	0	0	3
6	0	0	1	-1	-1	0	0	0	-1	1	-1	1	3
7	1	-1	0	0	1	1	-1	-1	0	-1	0	1	3
8	0	0	-1	-1	0	-1	1	-1	-1	0	1	1	3
9	0	0	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	2
10	0	0	-1	-1	1	0	1	0	-1	-1	-1	0	2
11	1	1	1	0	-1	0	1	-1	0	1	1	-1	3
12	1	0	-1	-1	-1	1	0	0	0	1	0	-1	1
13	-1	-1	0	1	1	0	1	1	1	-1	-1	-1	1
14	1	1	1	1	1	-1	0	-1	1	-1	0	-1	3
15	0	0	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	0	0	1
16	1	1	1	1	0	0	-1	-1	0	0	1	0	1
17	-1	-1	1	-1	1	0	0	1	0	-1	1	1	2
18	-1	-1	1	0	0	1	1	-1	1	0	-1	1	1
19	1	-1	-1	0	1	-1	1	0	1	-1	0	0	2
20	-1	1	1	0	-1	-1	-1	0	1	1	1	0	3
21	0	0	0	0	1	-1	0	0	-1	0	1	1	1
22	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	0	1	1	-1	3
23	1	1	-1	1	-1	0	-1	1	1	1	-1	0	2
24	-1	-1	0	1	0	1	0	-1	0	0	-1	0	2
25	-1	1	0	1	-1	1	1	1	0	1	0	1	2
26	1	-1	-1	1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1
27	-1	1	-1	0	1	0	0	-1	1	-1	-1	0	2

Fig. 3.6. Diseño experimental eficiente para encuesta final a partir de la herramienta Ngene

3.8.4. Generación y presentación aleatoria de situaciones de elección

De nuevo se presentan 2 tipos de etiquetas para los atributos, es decir, cualitativas para el tipo de transporte público, y cuantitativas para el resto de los atributos influyentes. En cuanto al tipo de transporte público, la definición utilizada en esta fase final fue la mostrada en la figura, que sirvió directamente como presentación del atributo a los encuestados.

En este caso se han cambiado las etiquetas de los niveles con el objetivo de aclarar el significado de los mismos. Además, se ha indicado porcentualmente la variación en el tiempo de viaje debida a la fiabilidad en la frecuencia de cada tipo de transporte público. Esta última medida se ha tomado para dotar al experimento de mayor claridad.

TIPOS DE TRANSPORTE PÚBLICO			
CARACTERÍSTICAS	NIVEL A	NIVEL B	NIVEL C
<i>Carril Reservado + Prioridad en Intersecciones</i>	DISPONIBLE durante todo el recorrido	DISPONIBLE en la MITAD del recorrido	NO DISPONIBLE en todo el recorrido
<i>Información Suministrada en las PARADAS</i>	ITINERARIO+HORARIOS de líneas TIEMPO DE ESPERA en tiempo real	IDÉNTICA a la suministrada en el NIVEL A	ITINERARIO+ HORARIOS de líneas
<i>Aumento de la duración prevista para 1 de cada 3 desplazamientos</i>	0% (del tiempo total)	15% (del tiempo total)	40% (del tiempo total)

Fig. 3.7. Presentación del atributo tipo de transporte público en la encuesta final

También se ha considerado que el valor límite del tiempo establecido en la encuesta piloto a partir del cual se podían dar retrasos (es decir, 5 min), puede resultar demasiado elevado para un sistema de capacidad intermedia con buenas prestaciones. Por este motivo no se considera este valor en el nuevo experimento, y además se ha mostrado de forma explícita (entre paréntesis) el tiempo extra que supone este retraso en cada una de las situaciones de elección, lo que confiere de mayor realismo al experimento (tal y como puede verse en las figuras del anexo A7).

Attribute level	T_{car} (min)	Delay _{car} (min)	$T_{public\ transport}$ (min)	Delay _{public transport} (min)		
				Type A	Type B	Type C
-1	14	3	15	0	2	6
0	18	4	23	0	2	3
1	27	6	31	0	3	12

Tabla 3.14. Variaciones ocasionales en el tiempo de viaje debidas a la congestión (coche) y al tipo de transporte (transporte público)

Para el caso de los atributos con niveles cuantitativos se procede análogamente a como se hizo en la encuesta piloto. Se ha tomado como referencia un viaje tipo de 5 kilómetros de longitud. El tiempo en el vehículo en este caso se ha obtenido como el tiempo medio de los viajes similares que se presentaron en la encuesta piloto, pivotando el resto de los valores del tiempo en torno a este. A este tiempo de referencia se le ha añadido un tiempo medio igual al 20% del anterior, con el objetivo de simular los efectos de la congestión. Estos valores, así como el número de transbordos y el intervalo entre vehículos pueden verse en la tabla siguiente. Nótese que en los costes se indican para cada uno de los niveles los valores correspondientes a Vitoria-Gasteiz, A Coruña y las ciudades francesas, respectivamente (estas fueron

las poblaciones seleccionadas como objeto del estudio, para más información véase capítulo 4):

ATRIBUTO	NIVEL	Coche	Transporte Público
Tiempo (sin considerar retrasos)	-1	$0.75 * T_{car}$ (14 min)	$0.66 * T$ (15 min)
	0	$0.8 * T_{car}$ (18 min)	T (23 min)
	1	$1.5 * T_{car}$ (27 min)	$1.33 * T$ (31 min)
Coste	-1	$0 * C_{car}$ (0/0/0)	$0.66 * C_{pt}$ (0.55/0.75/0.95€)
	0	$3 * C_{car}$ (1.2/1.2/1.65€)	C_{pt} (1/1.1/1.4€)
	1	$6 * C_{car}$ (2.4/2.4/3.30€)	$1.33 * C_{pt}$ (1.45/1.45/1.85€)
Intervalo entre Vehículos	-1	- (-)	Muy Bajo (4 min)
	0	- (-)	Bajo (8 min)
	1	- (-)	Medio (12 min)
Nº Transbordos	-1	- (-)	Sin transbordos (0)
	0	- (-)	1 transbordo (1)
	1	- (-)	2 transbordos (2)
Tipo de Transporte Público	-1	- (-)	Nivel C (C)
	0	- (-)	Nivel B (B)
	1	- (-)	Nivel A (A)

Tabla 3.15. Valores de los niveles de atributos presentados en la encuesta final

En cuanto al coste de aparcamiento para el coche se ha considerado en este caso un coste fijo igual a C_{car} €/hora, y suponiendo que en el primer nivel el aparcamiento es gratuito, que en el segundo es de pago y el tiempo de estancia es igual a 3 horas mientras que en el tercero el tiempo sería de 6 horas. El valor de C_{car} se ha determinado en función de la localización donde se realizan las encuestas: en el caso de que se trate de una ciudad española $C_{car}=0.4$ €/hora, mientras que si la ciudad es francesa $C_{car}=0.55$ €/hora. Respecto a la tarifa para los distintos niveles del transporte público se ha procedido de forma similar, definiendo un coste base denominado C_{pt} y pivotando los valores de los niveles extremos en torno a él. El C_{pt} elegido para cada país fue de 1 € para Vitoria-Gasteiz, 1.1 € para A Coruña y 1.4 € para Francia. La obtención de los valores de este atributo se trata en profundidad en el capítulo 4.

Por otro lado, y con el objetivo de mitigar en la medida de lo posible el sesgo debido al orden de presentación de las situaciones de elección a los encuestados, se ha optado de nuevo por la estrategia de generar 3 versiones de cada uno de los bloques del diseño y presentarlas a los alumnos de forma aleatoria.

	VERSION A			VERSION B			VERSION C		
	Block 1	Block 2	Block 3	Block 1	Block 2	Block 3	Block 1	Block 2	Block 3
1st	21	12	13	2	19	9	11	7	11
2nd	4	16	12	23	9	17	20	14	6
3rd	1	21	15	17	23	10	5	22	20
4th	15	4	18	19	24	25	6	5	8
5th	12	13	1	25	10	2	8	11	3
6th	13	15	16	9	17	24	3	20	7
7th	26	18	4	27	25	27	7	6	22
8th	16	26	21	24	2	19	22	3	14
9th	18	1	26	10	27	23	14	8	5

Tabla 3.16. Orden de presentación de las situaciones de elección en función del bloque y de la versión de la encuesta considerada: Encuesta final

3.8.5. Construcción de la encuesta final

Los principales cambios realizados respecto a la encuesta piloto pueden resumirse en los puntos siguientes:

- Sección de datos PR: De nuevo se realizan preguntas relativas al desplazamiento desde el domicilio del encuestado hasta el campus en el mismo día de la encuesta, así como preguntas de índole socioeconómico, aunque en este caso se incluye una sección en la que se recopila información relacionada con el grado de conocimiento del sistema de transporte público por parte de los usuarios.
- Sección de datos PD:
 - En primer lugar se pide a todos los encuestados que realicen elecciones en ambos escenarios, por lo que aunque el coche no esté disponible para su desplazamiento actual deben cubrir el escenario B.
 - Se indica de forma explícita la variación en el tiempo de viaje en transporte público debida a la fiabilidad en la frecuencia del mismo. También se explicita el tiempo debido a la congestión en la alternativa coche.

Tal y como se ha indicado anteriormente, esta encuesta se realizará en ciudades españolas y francesas, por lo que además de los valores correspondientes a costes de aparcamiento y a tarifas de transporte público, se han realizado otras adaptaciones a los cuestionarios (como considerar las distintas políticas de integración tarifaria de cada localización en el aparatado PR, o el desarrollo de la historia descriptiva del

ejercicio de elección en el apartado PD). La primera versión del primer bloque de cada uno de los cuestionarios empleados puede verse en el anexo A7. Obviamente, el resto de las versiones de las encuestas, correspondientes a los distintos bloques, solamente se diferencian de las mostradas en los niveles de los atributos de las situaciones de elección, así como en el orden de presentación de las mismas (según las tablas establecidas en el anexo A7).

El formato final de presentación de una de las situaciones de elección perteneciente a la ciudad de A Coruña se muestra en la siguiente figura:

Situación 5			
	COCHE	BUS	TRANVÍA
Tiempo total (min)**	27 (+6)	15 (+2)	23 (+9)
Coste (€)	1.20	0.55	1.00
Intervalo entre vehiculos (min)	-	4	12
Trasbordos (nº)	-	2	1
Tipo de Transporte*	-	B	C
Escenario A	-	<input type="checkbox"/> Elijo esta	<input type="checkbox"/> Elijo esta
Escenario B	<input type="checkbox"/> Elijo esta	<input type="checkbox"/> Elijo esta	<input type="checkbox"/> Elijo esta

Fig. 3.8. Presentación de una situación de elección para el experimento 1 en la encuesta final

3.8.6. Resumen de la muestra obtenida con la encuesta final

Los cuestionarios pertenecientes a la encuesta final se llevaron a cabo en diferentes campus universitarios pertenecientes a ciudades españolas y francesas. A través de los mismos se obtuvieron la mayor parte de las observaciones que constituyen la base para esta investigación. Es en el capítulo 4 del presente documento de tesis donde se tratarán las peculiaridades de cada una de las localizaciones elegidas, así como las diferentes partes del proceso de desarrollo de las encuestas, el tratamiento de datos realizado y la obtención de la muestra final, etc.

En la siguiente tabla puede observarse un resumen del número de encuestas de este tipo realizado en cada una de las localizaciones objeto de estudio.

Country	City	Surveys carried out		
		Exp. 1	Exp. 2	Total
Spain	A Coruña (1)	243	248	491
	Vitoria-Gasteiz	146	136	282
France	Lille	167	167	334
	Clermont-Ferrand	93	70	163
	Valenciennes	79	68	147
	Nantes	81	65	146
		420	370	790

Tabla 3.17. Número de cuestionarios realizados en cada localización mediante la encuesta final

(1) Resultados correspondientes a la encuesta final para la ciudad de A Coruña. Se obtendrá una segunda muestra para esta localización mediante un nuevo diseño eficiente, tal y como puede verse en el siguiente apartado. Este diseño se conocerá como complementario y la muestra así obtenida se denominará con el número 2.

3.9. Influencia de la etiqueta empleada en el modo ferroviario: encuesta complementaria

3.9.1. Introducción

Hasta el momento se ha hablado de experimentos etiquetados en los que, además de la alternativa coche, se han incorporado 2 alternativas de transporte público: un sistema de transporte basado en el autobús y un sistema de transporte ferroviario. Estos modos de transporte público presentaban distintas características, en lo que a calidad del servicio se refiere, a través del atributo tipo de transporte público. A la hora de diferenciar entre los diferentes sistemas de transporte público (y los niveles de este atributo) se han realizado diversas consideraciones atendiendo al tipo de uso de la plataforma, información suministrada, etc., y en general, a la calidad del servicio ofrecido. Estas consideraciones, así como las diferentes definiciones y términos empleados, pueden verse en los apartados 2.3. y 2.4. del capítulo 2 de esta tesis.

A la hora de presentar estos modos de transporte público a los encuestados se ha optado por emplear las etiquetas “autobús” y “tranvía”. En el primer caso la decisión acerca de la etiqueta que debe emplearse es clara e inmediata, puesto que en todo sistema de transporte basado en el autobús los vehículos se conocen con dicho nombre, y es un sistema existente en todas las ciudades objeto de estudio (y en general en todas las ciudades de tamaño intermedio). Sin embargo, en el caso de

sistemas ferroviarios nos encontramos una serie de condicionantes en cuanto a la etiqueta a emplear:

- En cada país existen diferentes interpretaciones de los términos “tranvía” y “metro ligero”.
- El término “metro ligero” no está tan extendido entre los usuarios de la red, que son los destinatarios últimos de las encuestas.
- Si empleamos “sistema ferroviario” como etiqueta puede inducir al error de pensar en sistemas de mayor capacidad (como metro o ferrocarril de cercanías), cuyas características y prestaciones son diferentes.

Estos son los principales motivos que han desembocado en la decisión de emplear la etiqueta “tranvía” para designar a los sistemas de transporte público de capacidad intermedia presentados en las encuestas denominadas como finales.

La propia etiqueta aporta una cantidad de información sobre cada modo de transporte que está representada en la memoria de cada uno de los encuestados. Por lo tanto, esta etiqueta puede influir en la elección, ya que supone una parte de la valoración realizada por cada usuario que es debida a la imagen percibida de cada modo de transporte. Esta valoración puede estar condicionada en gran medida por la experiencia previa de los usuarios con el sistema o el hábito, lo que a su vez depende del contexto de estudio. Es decir, parece razonable pensar que la información aportada por la etiqueta es más negativa si el sistema de transporte asociado a la misma en la ciudad de estudio presenta o ha presentado deficiencias en lo que al servicio prestado se refiere.

Con el objetivo de estudiar los cambios en la elección debidos a emplear una etiqueta diferente para el modo ferroviario, se realiza un estudio adicional en el que se cambia la etiqueta “tranvía” por la etiqueta “metro ligero”. Se utilizan los mismos atributos y los mismos valores en los niveles que en el ejercicio de elección PD anterior, lo que posibilita la comparación entre resultados obtenidos en ambos procesos.

La localización elegida para realizar el estudio, denominado como complementario, es la ciudad de A Coruña. Esta elección se sustenta en los siguientes motivos:

- Es la única ciudad objeto de estudio que no dispone de un sistema ferroviario de capacidad intermedia en funcionamiento. Con esto se elimina la posible influencia de la imagen percibida por los usuarios de un sistema de transporte

ya existente, en funcionamiento y en muchos casos con relativo éxito entre los ciudadanos.

- Es cierto que en el pasado A Coruña dispuso de un tranvía que cubría una ruta de unos 12 kilómetros (ida y vuelta) a lo largo de su paseo marítimo. Sin embargo, se trataba de un tranvía turístico, con vehículos rehabilitados, cuya finalidad era mostrar los diferentes puntos de interés cercanos a las playas urbanas, la Torre de Hércules, etc. Se rehabilitó para su puesta en marcha en 1997 y apenas 10 años después se cerró la línea. El nivel de servicio que ofrecía a los usuarios evidenciaba sus carencias como modo de transporte eficiente, compartiendo la calzada con el resto de los vehículos en la mayor parte de su recorrido, y siendo un transporte que no era considerado como tal por los habitantes de la ciudad. Esto puede suponer que la imagen prefijada de los habitantes de A Coruña respecto a un modo ferroviario que se ha denominado como “tranvía” sea extremadamente negativa lo que a priori no sucede en el resto de localizaciones consideradas en la investigación.



Fig. 3.9. Tranvía turístico en A Coruña a su paso frente al museo Domus (Fuente: Recuperado de <http://www.tranviascoruna.com/tranvia-historico/>)

- En tercer lugar, este estudio es posterior a la recogida de datos principal, y se realiza entre la fase intermedia y final de la investigación, por lo que la asignación de recursos destinados a la misma no puede ser tan elevada como la que se consideró en fases anteriores.

3.9.2. Obtención de valores previos de los parámetros para el diseño experimental eficiente complementario

Con la recopilación de datos realizada con la encuesta final, descrita en el apartado anterior, se dispone de una gran cantidad de información relacionada con la elección que realizan los encuestados. Esta información aporta un conocimiento más preciso de los valores previos de los parámetros en este contexto, lo que a su vez supone la obtención de un mejor diseño experimental en lo que a términos de eficiencia estadística se refiere.

Puesto que se trata de un procedimiento análogo al anterior, solamente se entra en detalle en las partes más importantes del mismo, destacando los cambios fundamentales respecto al diseño experimental anterior. Además, el lector dispone de más información en los anexos correspondientes a cada uno de los apartados.

Por último, merece la pena señalar que el diseño experimental para la encuesta complementaria se espació en el tiempo lo suficiente como para garantizar un correcto tratamiento de los datos obtenidos en la encuesta final, así como un adecuado re-diseño experimental eficiente.

3.9.2.1. Muestra obtenida en A Coruña mediante la encuesta final

Mediante la encuesta final (apartado 3.8), se obtuvieron datos de la elección de un total de 491 alumnos pertenecientes a varios centros de estudios del Campus de Elviña. La distribución de alumnos encuestados por centro universitario es la siguiente:

Centro de estudios	Alumnos
ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	232
Facultad de Sociología y Ciencias de la Comunicación	98
Facultad de Economía y Empresa	121
Facultad de Informática	40
TOTAL	491

Tabla 3.18. Distribución por centro de estudios de los cuestionarios realizados en A Coruña mediante la encuesta final

En primer lugar se realiza un filtrado inicial de las situaciones de elección en función del escenario de elección planteado. Este consiste en retirar los individuos y

situaciones que o bien no han sido completadas, o bien se han realizado de forma incoherente (eligiendo una alternativa de transporte público en el escenario A y la otra alternativa de transporte público en el escenario B, para la misma situación de elección). Además se consideran como escenarios individuales (escenario B) los casos en los que se ha cubierto el transporte público en el escenario A y el privado en el escenario B, por no contravenir el concepto del ejercicio. Con estas premisas los resultados válidos para la modelización se muestran en la tabla siguiente:

	Exp. 1	Exp. 2	Total
Encuestas realizadas	243	248	491
Encuestas válidas (PR)	227	233	460
Observaciones válidas (PD)	3545	3699	7244

Tabla 3.19. Observaciones válidas obtenidas en A Coruña mediante la encuesta final

3.9.2.2. Estimación de modelos MNL para el diseño eficiente complementario

A continuación se presentan los resultados de la estimación de modelos del tipo MNL para la obtención de los valores previos de los parámetros que se emplean en el rediseño experimental eficiente. Para ello se parte de las siguientes situaciones de elección PD válidas:

- 3 545 situaciones de elección para el Experimento 1: 1 635 para el escenario A y 1 910 para el escenario B.
- 3 699 situaciones de elección para el Experimento 2: 1 725 para el escenario A y 1 974 para el escenario B.

Tras un procedimiento iterativo en el que se tienen en cuenta diferentes estadísticos para la comparación de las distintas modelizaciones (como el test de igualdad de parámetros o el test de razón de verosimilitud, para más información véase anexo A8), se obtienen modelos que siguen diferentes especificaciones de la utilidad para las 3 alternativas implicadas.

Las 2 modelizaciones MNL con las que se ha procedido en la generación del diseño experimental toman como base las especificaciones mostradas en las expresiones 3.10 y 3.11, a las que se aplican una serie de restricciones en función del modelo considerado. De este modo se obtienen los siguientes modelos:

- Atributo tiempo como genérico (MNL T-Gen): Se considera que los parámetros del tiempo son iguales para todas las alternativas, es decir, $\beta_{T,1} = \beta_{T,2} = \beta_{T,3}$.
- Todos los atributos genérico (MNL Gen): Se considera que todos los parámetros son iguales para todas las alternativas, es decir
 - $\beta_{T,1} = \beta_{T,2} = \beta_{T,3}$
 - $\beta_{C,1} = \beta_{C,2} = \beta_{C,3}$
 - $\beta_{L2,2} = \beta_{L2,3}$
 - $\beta_{L3,2} = \beta_{L3,3}$

El procedimiento que ha llevado a la elección de estas modelizaciones, así como a descartar otras especificaciones de modelos MNL que finalmente no han sido consideradas, se muestra en el anexo A8.

En las siguientes tablas se muestran los valores de los parámetros que se utilizan en el posterior diseño eficiente complementario. Estos han sido obtenidos mediante la versión 1.8 del software BIOGEME (Bierlaire, 2003), al igual que todos los modelos estimados a lo largo de la presente tesis.

Parameter	Base			T-Gen			Gen		
	Value	Std err	Sig.	Value	Std err	Sig.	Value	Std err	Sig.
ASC car	0	--fixed--		0	--fixed--		0	--fixed--	
ASC bus	0.0601	0.329	14.5%	-0.18	0.225	57.6%	-0.577	0.098	99.9%
ASC tram	-0.31	0.363	60.7%	-0.271	0.231	75.9%	-1.33	0.0993	99.9%
Travel time car	-0.0943	0.00997	99.9%						
Travel time bus-based	-0.106	0.00661	99.9%	-0.0994	0.00424	99.9%	-0.0986	0.00416	99.9%
Travel time rail-based	-0.0945	0.0072	99.9%						
Cost car	-0.682	0.0582	99.9%	-0.676	0.0575	99.9%			
Cost bus-based	-1.09	0.168	99.9%	-1.1	0.167	99.9%	-0.746	0.0548	99.9%
Cost rail-based	-1.48	0.186	99.9%	-1.51	0.184	99.9%			
Frecuency	-0.0465	0.00785	99.9%	-0.0452	0.00777	99.9%	-0.0425	0.00759	99.9%
1 Transfer point	-0.348	0.0679	99.9%	-0.349	0.0679	99.9%	-0.325	0.0661	99.9%
2 Transfer points	-0.61	0.0668	99.9%	-0.606	0.0666	99.9%	-0.632	0.0666	99.9%
Level B bus-based	0.452	0.107	99.9%	0.449	0.106	99.9%			
Level B rail-based	0.151	0.116	80.7%	0.139	0.116	76.9%	0.317	0.0798	99.9%
Level A bus-based	0.765	0.106	99.9%	0.768	0.106	99.9%			
Level A rail-based	0.36	0.117	99.8%	0.355	0.116	99.8%	0.594	0.0799	99.9%
Parameters	15			13			9		
Observations	3545			3545			3545		
Null log-likelihood	-3231.645			-3231.645			-3231.645		
Final log-likelihood	-2309.994			-2310.865			-2326.282		

Tabla 3.20. Valores de los parámetros, errores estándar y significación estadística para los parámetros de los modelos MNL: experimento 1

Parameter	Base			T-Gen			Gen		
	Value	Std err	Sig.	Value	Std err	Sig.	Value	Std err	Sig.
ASC car	0	--fixed--		0	--fixed--		0	--fixed--	
ASC bus	1.16	0.313	99.9%	0.834	0.205	99.9%	-0.121	0.0866	83.8%
ASC tram	0.797	0.361	97.3%	0.568	0.23	98.6%	-0.849	0.0861	99.9%
Travel time car	-0.0957	0.01	99.9%						
Travel time bus-based	-0.113	0.00664	99.9%	-0.107	0.00431	99.9%	-0.104	0.0042	99.9%
Travel time rail-based	-0.108	0.00724	99.9%						
Cost car	-0.809	0.0582	99.9%	-0.814	0.0573	99.9%			
Cost bus-based	-1.58	0.167	99.9%	-1.61	0.166	99.9%	-0.902	0.0556	99.9%
Cost rail-based	-2.06	0.193	99.9%	-2.08	0.191	99.9%			
Frecuency	-0.0651	0.00793	99.9%	-0.0639	0.00784	99.9%	-0.0559	0.00751	99.9%
1 Transfer point	-0.487	0.0664	99.9%	-0.491	0.0661	99.9%	-0.468	0.0648	99.9%
2 Transfer points	-0.977	0.0702	99.9%	-0.977	0.07	99.9%	-0.988	0.0696	99.9%
Parameters		11			9			7	
Observations		3699			3699			3699	
Null log-likelihood		-3364.34			-3364.34			-3364.34	
Final log-likelihood		-2289.212			-2290.169			-2314.852	

Tabla 3.21. Valores de los parámetros, errores estándar y significación estadística para los parámetros de los modelos MNL: experimento 2

Puede observarse que casi todos los parámetros presentan signos intuitivamente correctos. Esto también sucede para la mayor parte de las ASC de los modelos correspondientes al experimento 1, mientras que en el experimento 2 solamente presentan signos negativos para la última de las especificaciones (aunque debe recordarse que como se trata de muestras diferentes no deben extraerse conclusiones basándose solamente en este aspecto).

Respecto a la significación estadística de los parámetros obtenidos según los test-t asociados, la mayor parte de los parámetros se presentan como significativamente diferentes de cero. Sin embargo las ASC no son significativas en la mayor parte de modelos del experimento 1, aunque esto cambia en los modelos del experimento 2. Un análisis más detallado de los resultados obtenidos mediante estas modelizaciones puede verse en el anexo A8.

3.9.2.3. Estimación de modelos ML con datos de panel para el diseño eficiente complementario

Por definición del ejercicio de elección PD un encuestado se enfrenta a una serie de elecciones y por tanto estas pueden ser tratadas como datos de panel, es decir, en los que se tienen múltiples respuestas del mismo encuestado (ya sea por disponer de una serie temporal de respuestas, o porque aunque se realicen en el mismo instante de tiempo estas sean varias situaciones hipotéticas, como es el caso). Esto contraviene

claramente la definición de modelización logit multinomial (MNL) en la que debe cumplirse, entre otras, la condición de independencia entre observaciones.

Además, y como ya se ha indicado en el apartado 3.8.2.4., el tipo de modelización empleada una vez se obtengan los datos necesarios mediante el diseño experimental eficiente correspondiente es de gran importancia, pudiéndose perder parte de esta eficiencia en el proceso. Una de las limitaciones del MNL consiste en no permitir la existencia de correlación entre alternativas, y en este caso de estudio parece claro que las alternativas de transporte público podrían tener cierta correlación entre sí (ya que se trata de modos más similares entre sí que el coche).

Por todo lo anterior, parece adecuado plantearse un análisis de las implicaciones que tendría una modelización tipo logit mixto (ML) con datos de panel en el diseño experimental eficiente complementario. Aunque se profundizará en el capítulo 5 en los aspectos más importantes de este tipo de modelo logit, así como en sus 2 posibles especificaciones, a continuación se introduce su definición mediante su especificación como componentes de error.

En los modelos ML los factores no observados se dividen en una parte que contiene la posible correlación y heteroscedasticidad, y que puede seguir cualquier distribución (γ_{jq}); y otra parte que es del tipo Gumbel IID (ε_{jq}). La especificación como componentes de error supone que el error cometido al emplear la componente determinística de la utilidad puede dividirse en estas 2 partes:

$$U_{jq} = V_{jq} + \gamma_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad (3.19)$$

Cuando la utilidad se toma como una función lineal en los parámetros, lo que suele ser habitual en la mayor parte de las aplicaciones, la utilidad puede expresarse como:

$$U_{jq} = \alpha_j x_{jq} + \xi_{jq} z_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad (3.20)$$

Donde α_j son coeficientes fijos correspondientes a los atributos influyentes x_{jq} , mientras que ξ_{jq} son unos coeficientes aleatorios con media cero (y una determinada matriz de covarianza) que ponderan datos observados z_{jq} .

Por otra parte, la especificación del modelo como parámetros o coeficientes aleatorios es equivalente a la anterior. Sin embargo la elección de una u otra se realiza en función de la interpretación que el analista hace del problema objeto de estudio: mientras que la especificación como coeficientes aleatorios explicita generalmente las variaciones en los gustos de los encuestados, se recurre a la especificación como componentes de error para estudiar los patrones de sustitución entre alternativas (Cherchi & Ortúzar, 2004).

Para este caso se ha optado por un modelo ML en su especificación de componentes de error en el que se utilizan datos de panel. Se consideran todos los parámetros asociados a los atributos influyentes como genéricos, y además se añade una componente aleatoria θ a las alternativas de transporte público, la cual sigue una distribución normal con media cero y varianza igual a σ .

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \beta_T \cdot T_1 + \beta_C \cdot C_1 \\
 V_2 &= ASC_2 + \beta_T \cdot T_2 + \beta_C \cdot C_2 + \beta_F \cdot F_2 + \beta_{NT1} \cdot NT1_2 + \beta_{NT2} \cdot NT2_2 + \beta_{L2} \cdot L2_2 + \beta_{L3} \cdot L3_2 + \theta(0, \sigma) \\
 V_3 &= ASC_3 + \beta_T \cdot T_3 + \beta_C \cdot C_3 + \beta_F \cdot F_3 + \beta_{NT1} \cdot NT1_3 + \beta_{NT2} \cdot NT2_3 + \beta_{L2} \cdot L2_3 + \beta_{L3} \cdot L3_3 + \theta(0, \sigma)
 \end{aligned}
 \tag{3.21}$$

Como en casos anteriores, la especificación para el experimento 2 es idéntica con la salvedad de que no se tiene en cuenta el atributo tipo de transporte público.

Los valores de los parámetros obtenidos en estas modelizaciones se muestran en la tabla 3.22. En este caso se aprecia que todos los valores de los parámetros asociados a los atributos presentar signos intuitivamente correctos, además de ser significativamente distintos de cero, y lo mismo sucede para las todas las ASC de los diferentes modelos.

Para finalizar con este apartado merece la pena señalar que se han considerado series Halton como método para generar las extracciones aleatorias necesarias en el cálculo de modelos ML, puesto que su evaluación requiere de simulación. Se han realizado modelos con 10, 50, 200, 500 y 1 000 extracciones para los 2 experimentos, comprobándose que tanto los valores de las ASC como los de los términos aleatorios apenas sufren variaciones, lo que implica que el modelo elegido es lo suficientemente robusto. Los valores mostrados en la citada tabla 3.22. corresponden a los modelos con 1 000 extracciones Halton.

Parameter	ML (EC) Gen - Exp1				ML (EC) Gen - Exp2			
	Value	Std err	t-test	Sig.	Value	Std err	t-test	Sig.
ASC car	0	--fixed--			0	--fixed--		
ASC bus-based	-0.963	0.18	-5.34	99.9%	-0.475	0.177	-2.69	99.9%
ASC rail-based	-1.75	0.181	-9.67	99.9%	-1.26	0.176	-7.14	99.9%
Time	-0.114	0.00471	-24.18	99.9%	-0.121	0.00482	-25.11	99.9%
Cost	-1.02	0.0684	-14.89	99.9%	-1.25	0.0719	-17.42	99.9%
Frecuency	-0.0455	0.008	-5.68	99.9%	-0.0622	0.00796	-7.81	99.9%
1 Transfer point	-0.288	0.0699	-4.13	99.9%	-0.463	0.0692	-6.7	99.9%
2 Transfer points	-0.66	0.0696	-9.48	99.9%	-1.04	0.0735	-14.15	99.9%
Level B	0.367	0.0869	4.22	99.9%	-	-	-	-
Level A	0.661	0.0865	7.64	99.9%	-	-	-	-
Sigma	2.01	0.158	12.72	99.9%	2.1	0.164	12.82	99.9%
Theta	0	--fixed--			0	--fixed--		
Parameters		10				8		
Observations		3545				3699		
Individuals		227				233		
Null log-likelihood		-3231.645				-3364.34		
Final log-likelihood		-2126.199				-2107.109		

Tabla 3.22. Valores de los parámetros, errores estándar, test-t y significación estadística para los modelos ML: experimentos 1 y 2

3.9.3. Generación del diseño experimental eficiente para la encuesta complementaria

3.9.3.1. Diseño experimental eficiente basado en modelos MNL

Con el fin de facilitar la comparación entre los modelos obtenidos con datos de la encuesta final en la ciudad de A Coruña, y aquellos que se basan en los datos obtenidos en la encuesta complementaria, apenas se han planteado cambios estructurales en la elaboración de los mismos. Por lo tanto, se mantienen las especificaciones de las expresiones 3.10. y 3.11., el mismo número de atributos y de niveles, así como los valores asociados a cada uno de ellos. La principal diferencia se da a la hora de considerar los valores previos de los parámetros, que en el caso de la encuesta complementaria se obtienen de la forma mostrada en el apartado anterior (especificaciones MNL T-Gen y MNL Gen).

Otro de los cambios destacables es que en este caso solamente se presentan 6 situaciones de elección a cada uno de los encuestados. De nuevo el número de grados de libertad necesarios es igual a 16, y fragmentando el diseño en 3 bloques se añade 1 grado de libertad adicional, por lo que el número mínimo de situaciones de

elección es de 17. Por último se consideran 18 situaciones con el objetivo de lograr un diseño balanceado, presentando a cada encuestado 6 de ellas.

Como en el anterior diseño eficiente, se tienen en cuenta los 2 experimentos en la obtención del error de eficiencia. Además, en una primera aproximación se consideran 3 diseños en los que se emplean los valores previos de los parámetros obtenidos mediante modelos MNL: el primero con valores previos de los parámetros fijos (D_p -error); el segundo con distribución bayesiana de los valores previos de los parámetros para los atributos tiempo, coste y las constantes específicas (D_b -error 1); y en tercer lugar se considera la distribución bayesiana de los valores previos de todos los parámetros asociados a los atributos influyentes además de a las constantes específicas (D_b -error 2).

En este caso se han comparado las 10 iteraciones que presentan mayor eficiencia antes de cumplirse el criterio de truncamiento en cada uno de los casos, obteniéndose los resultados siguientes:

	MNL T-Gen			MNL Gen		
	D_p -error	D_z -error1	D_z -error2	D_p -error	D_z -error1	D_z -error2
Iteration	10 182	5 341	8 719	7 141	7 998	2 358
D-error (fixed)	0.985151	0.986379	0.996698	1.089134	1.092409	1.110275
D-error (bayesian mean)	-	1.005399	1.017236	-	1.095472	1.114564
Balance error	0.580	0.599319	0.586950	0.594591	0.650846	0.577551
Attribute balanced	22	21	17	21	19	22
Attribute balanced (%)	61.1%	58.3%	47.2%	58.3%	52.8%	61.1%
0 (%)	2%	2%	0%	1%	2%	1%
1 (%)	12%	13%	18%	14%	15%	13%
2 (%)	71%	69%	65%	71%	67%	73%
3 (%)	14%	15%	18%	12%	15%	11%
4 (%)	1%	1%	0%	2%	2%	2%
5 (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%
6 (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 3.23. Comparación de los diseños eficientes basados en valores de modelos MNL para encuesta complementaria

siendo:

Iteration: el número de la iteración correspondiente

D-error (fixed): el valor del *D-error* para el diseño (suma de errores para los 2 experimentos) considerando valores previos fijos de los parámetros

D-error (bayesian mean): el valor del *D-error* para el diseño (suma de errores para los 2 experimentos) considerando valores previos de los parámetros con distribución bayesiana

Balance error: el error cometido en cuanto al balance de niveles de atributo en los bloques (expresión 3.18.). En este caso cada uno de los 3 niveles de cada atributo debería aparecer 2 veces en cada bloque (2·3 bloques = 6 situaciones)

Attribute balanced: número de veces que 1 atributo está perfectamente balanceado en 1 bloque (esto es, se presenta cada nivel 2 veces por bloque)

Attribute balanced (%): el porcentaje de ocasiones en las que 1 atributo está perfectamente balanceado en 1 bloque (sobre 36 posibles)

0(%): porcentaje en el que 1 nivel de atributo no se presenta en ninguna ocasión en un bloque (sobre 108)

1(%): porcentaje en el que 1 nivel de atributo se presenta en 1 ocasión en un bloque (sobre 108)

2(%): porcentaje en el que 1 nivel de atributo se presenta en 2 ocasiones en un bloque (sobre 108)

3(%): porcentaje en el que 1 nivel de atributo se presenta en 3 ocasiones en un bloque (sobre 108)

4(%): porcentaje en el que 1 nivel de atributo se presenta en 4 ocasiones en un bloque (sobre 108)

5(%): porcentaje en el que 1 nivel de atributo se presenta en 5 ocasiones en un bloque (sobre 108)

6(%): porcentaje en el que 1 nivel de atributo se presenta en 6 ocasiones en un bloque (sobre 108)

Finalmente se eligen para la encuesta complementaria los diseños basados en el modelo MNL Gen. Este grupo, además de contar con el diseño que presenta un menor error en el balance de los niveles de los atributos en cada bloque, se basa en los valores previos de los parámetros obtenidos a partir de una especificación similar a la que se abordará en el siguiente apartado (diseño basado en modelo ML con datos de panel) por lo que parece a priori una elección más coherente.

En el anexo A9 puede encontrarse más detalles del procedimiento de selección de los diseños basados en valores previos de los parámetros obtenidos de modelos MNL.

3.9.3.2. Diseño experimental eficiente basado en modelos ML con datos de panel

En este caso se han considerado los valores previos de los parámetros obtenidos en la modelización ML con datos de panel (tabla 3.22). La especificación considerada para el diseño experimental es idéntica a la especificación base (expresiones 3.10. y 3.11.) con la salvedad de que se añade una componente aleatoria común para las alternativas de transporte público que sigue una distribución normal de media cero y varianza conocida. Para el experimento 1 esta especificación es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \beta_{T,1} \cdot T_1 + \beta_{C,1} \cdot C_1 \\
 V_2 &= ASC_2 + \beta_{T,2} \cdot T_2 + \beta_{C,2} \cdot C_2 + \beta_F \cdot F_2 + \beta_{NT1} \cdot NT1_2 + \beta_{NT2} \cdot NT2_2 + \beta_{L2,2} \cdot L2_2 + \beta_{L3,2} \cdot L3_2 + \theta(0, \sigma) \\
 V_3 &= ASC_3 + \beta_{T,3} \cdot T_3 + \beta_{C,3} \cdot C_3 + \beta_F \cdot F_3 + \beta_{NT1} \cdot NT1_3 + \beta_{NT2} \cdot NT2_3 + \beta_{L2,3} \cdot L2_3 + \beta_{L3,3} \cdot L3_3 + \theta(0, \sigma)
 \end{aligned}
 \tag{3.22}$$

El resto de características de la generación del diseño experimental son similares al caso anterior, con la excepción de que en este caso se considera como criterio de truncamiento el que no se consigan mejoras tras 1 000 iteraciones. Además, para la simulación del modelo ML en su especificación de componentes de error se consideran 250 extracciones mediante series Halton. Los resultados obtenidos para las 10 iteraciones que presentan mayor eficiencia antes de cumplirse el criterio de truncamiento se muestran en la tabla siguiente:

Iteration	2 277	2 320	2 370	2 372	2 375	2 387	2 410	2 445	2 809	2 818
D-error (fixed)	1.8927	1.8919	1.8917	1.8865	1.8847	1.8847	1.8843	1.8786	1.8753	1.8719
Balance error	0.835	0.752	0.719	0.748	0.910	0.910	0.876	0.671	0.850	0.671
Attribute balanced	13	19	20	18	8	8	11	15	13	15
Attribute balanced (%)	36.1%	52.8%	55.6%	50.0%	22.2%	22.2%	30.6%	41.7%	36.1%	41.7%
0 (%)	4%	4%	4%	5%	6%	6%	6%	1%	6%	1%
1 (%)	20%	14%	13%	13%	23%	23%	20%	19%	19%	19%
2 (%)	53%	66%	67%	63%	43%	43%	48%	60%	52%	60%
3 (%)	19%	13%	13%	17%	23%	23%	20%	18%	19%	18%
4 (%)	3%	3%	4%	3%	6%	6%	6%	2%	6%	2%
5 (%)	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
6 (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 3.24. Valores del error de eficiencia y del error en el balance de los niveles de atributo para los 10 diseños basados en ML (EC) Gen y que presentan mayor eficiencia

A la vista de los resultados obtenidos, el diseño de este tipo que se ha elegido es el que corresponde a la iteración 2 818, ya que presenta el menor error en el balance de los niveles de atributo por bloque, además de ser el diseño más eficiente. Cabe señalar que existen otros diseños en los que se presentan atributos perfectamente balanceados un mayor número de veces (como los de la iteraciones 2 320, 2 370 y 2 372), pero sin embargo el error en el balance es muy superior. Esto es debido a que presentan un número mayor de desviaciones de segundo grado³ (del orden del 7-8% frente al 3% en el diseño elegido).

Para finalizar, la decisión de considerar solamente los valores previos para los parámetros como fijos con modelos ML ha sido motivada por el elevado tiempo de computación que supondría el cálculo de diseños con distribuciones bayesianas en los valores de los parámetros. Como ejemplo de este aspecto se destaca que el tiempo de computación de este diseño, cuyos parámetros presentan distribución bayesiana y con criterio de truncamiento de 1 000 iteraciones sin mejora en la eficiencia, es mayor a las 22 horas (como puede verse en el anexo A9).

3.9.3.3. Comparación de diseños experimentales eficientes: evaluación de la eficiencia

Para terminar con la generación del diseño experimental debe decidirse cuál de los diseños presentados es el elegido para la generación de la encuesta complementaria. Hasta el momento se han considerado los diseños basados en la familia MNL Gen y el diseño basado en el modelo ML (EC) Gen. Los valores que caracterizan la eficiencia y error en el balance de los niveles de atributo correspondientes a los mismos pueden verse en la siguiente tabla:

³ Se considerará una desviación de grado n cuando el número de veces que se presente un nivel de un atributo concreto dentro de un bloque, sea igual al número de veces teórico para que el atributo esté perfectamente balanceado (2 en este caso) más/menos n . Por lo tanto, para el diseño experimental complementario una desviación de segundo grado implica que un nivel de un atributo aparece cero o 4 veces en un bloque. Para más información respecto al grado de las desviaciones véase el anexo A6.

	MNL Gen		ML (EC) Gen	
	D_p -error	D_z -error1	D_z -error2	D_p -error
Iteration	7 141	7 998	2 358	2 818
D error (fixed)	1.089134	1.092409	1.110275	1.871877
D error (b.mean)	-	1.095472	1.114564	-
Balance error	0.59459182	0.65084675	0.57755168	0.67059813
Attribute balanced	21	19	22	15
Attribute balanced (%)	58%	53%	61%	42%
0 (%)	1%	2%	1%	1%
1 (%)	14%	15%	13%	19%
2 (%)	71%	67%	73%	60%
3 (%)	12%	15%	11%	18%
4 (%)	2%	2%	2%	2%
5 (%)	0%	0%	0%	0%
6 (%)	0%	0%	0%	0%

Tabla 3.25. Valores del error de eficiencia y del error en el balance de los niveles de atributo para los diseños eficientes basados en MNL Gen y ML (EC) Gen

El diseño que parece tener mejores valores de eficiencia, error en el balance de niveles de atributo y atributos perfectamente balanceados es el diseño denominado como MNL Gen D_z -error2. Además, podría considerarse la distribución bayesiana en todos los parámetros como la más apropiada, puesto que al no tener una certeza absoluta de los valores previos de los parámetros es aconsejable permitir una cierta variación de los mismos, aun a costa de perder parte de la eficiencia que se obtendría con parámetros fijos (aunque como puede verse en la tabla esta pérdida de eficiencia es apenas apreciable).

La última comprobación realizada para confirmar que el diseño elegido es el más apropiado de entre la selección previa, consiste en evaluar la eficiencia de los 2 diseños experimentales que se basan en modelos de tipología diferente, es decir, el MNL Gen D_z -error2 y el ML (EC) Gen D_p -error. Se evalúa la eficiencia del diseño basado en el modelo MNL Gen D_z -error2, aplicándolo a la especificación del modelo ML (EC) Gen D_p -error, y viceversa. Los resultados de estas evaluaciones pueden verse en la siguiente tabla:

	MNL Gen D_z -error2	ML (EC) Gen D_p -error	TOTAL
MNL Gen D_z -error2	1.114564	1.88028	3.163643
ML (EC) Gen D_p -error	1.173277	1.888629	3.220286

Tabla 3.26. Evaluación de los diseños eficientes pre-seleccionados para la encuesta complementaria

La diferencia entre el D_p -error obtenido en el caso del diseño basado en el modelo ML (EC) Gen respecto a la optimización anterior se debe a que es necesario emplear simulaciones por la tipología de modelo. Se puede observar que la eficiencia obtenida con la evaluación del diseño MNL Gen sobre el modelo ML (EC) Gen es mayor que la del propio proceso de optimización del mismo, por lo que supone un motivo adicional en la elección del primer diseño como el definitivo.

Por lo tanto, el diseño experimental eficiente finalmente elegido para la encuesta complementaria es el que se basa en los valores previos de los atributos del modelo MNL Gen y en el que se permite la variación bayesiana de estos valores (D_z -error2). La codificación de los niveles de atributo del mismo puede verse en la siguiente tabla:

Choice situation	Tcar	Ccar	Tbus	Cbus	Fbus	NTbus	Lbus	Trail	Crail	Frail	NTrail	Lrail	Block
1	0	-1	0	-1	1	-1	0	1	-1	-1	0	-1	2
2	-1	-1	-1	-1	1	0	-1	-1	-1	-1	1	1	1
3	-1	1	0	1	-1	0	-1	-1	1	1	-1	-1	3
4	0	0	0	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1
5	1	1	1	1	0	0	0	1	1	-1	-1	1	1
6	1	-1	0	1	0	-1	1	0	0	0	0	-1	3
7	1	1	-1	1	1	-1	-1	0	1	0	1	0	2
8	0	0	1	-1	1	0	0	-1	-1	-1	1	-1	2
9	-1	0	-1	0	1	1	1	1	0	-1	-1	1	3
10	0	1	1	0	1	1	1	-1	0	-1	0	0	3
11	-1	1	1	1	0	-1	-1	0	1	0	0	-1	1
12	0	0	1	-1	-1	-1	1	0	-1	1	1	1	2
13	-1	-1	0	0	0	0	1	1	0	0	-1	0	2
14	1	1	-1	0	-1	1	0	-1	0	1	0	1	2
15	-1	0	-1	0	-1	-1	0	1	-1	1	1	0	3
16	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
17	1	-1	1	-1	0	1	-1	0	1	0	0	1	3
18	1	-1	-1	0	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1

Fig. 3.10. Diseño experimental eficiente para encuesta complementaria a partir de la herramienta Ngene

3.9.4. Generación y presentación aleatoria de situaciones de elección

Todos los valores de los niveles de los atributos, ya sean cuantitativos o cualitativos, son iguales a los empleados en la encuesta final. Del mismo modo, las variaciones ocasionales en el tiempo debidas a la congestión del tráfico o el tipo de transporte público, toman los mismos valores y se explicitan entre paréntesis en las situaciones de elección.

De nuevo se han generado distintas versiones de cada uno de los bloques del diseño para presentarlas a los encuestados de forma aleatoria. El orden de presentación en

cada una de las versiones de los diferentes bloques, así como otros aspectos relacionados con la generación de la encuesta complementaria, puede ser consultado en el anexo A10.

3.9.5. Construcción de la encuesta

La encuesta complementaria es casi idéntica a la encuesta final en cuanto al contenido de sus secciones PR y PD. Las 2 grandes diferencias existentes entre ellas son el número de situaciones de elección presentadas y la etiqueta relacionada con el modo de transporte público ferroviario (“metro ligero” en este caso). En la siguiente figura se muestra una situación de elección tal y como se presenta a los encuestados:

Situación 6			
	COCHE	BUS	METRO LIGERO
Tiempo total (min)**	27 (+6)	23 (+9)	31 (+5)
Coste (€)	2.4	1.45	1.45
Intervalo entre vehículos (min)	-	4	12
Trasbordos (nº)	-	1	0
Tipo de Transporte*	-	C	B
Escenario A	-	<input type="checkbox"/> Elijo esta	<input type="checkbox"/> Elijo esta
Escenario B	<input type="checkbox"/> Elijo esta	<input type="checkbox"/> Elijo esta	<input type="checkbox"/> Elijo esta

Fig. 3.11. Presentación de una situación de elección para el experimento 1 en la encuesta complementaria

En el anexo A10 puede verse la sección PR así como la primera versión del primer bloque para el ejercicio de elección PD en cada uno de los 2 experimentos considerados.

3.9.6. Resumen de la muestra obtenida mediante la encuesta complementaria

El número de cuestionarios recopilados en A Coruña mediante la encuesta complementaria es de 549, siendo 275 correspondientes al experimento 1 y 274 al experimento 2. Tras el tratamiento de datos necesario para realizar estimaciones de modelos de reparto modal con ciertas garantías, se obtienen 5 261 observaciones PD válidas (2 553 para el experimento 1 y 2 708 para el experimento 2). Para más

información puede consultarse el capítulo siguiente, en el que se profundiza en las diferentes características de la muestra así como en su procedencia.

3.10. Resumen de conclusiones relativas al diseño experimental para la recopilación de datos

El presente capítulo constituye, en esencia, un análisis de las diferentes metodologías propuestas a lo largo de las últimas décadas relativas a la generación de diseños experimentales con datos PD para la evaluación de la demanda de transporte, y su posterior aplicación al caso objeto de estudio.

Se ha conseguido la generación de diseños experimentales ortogonales y eficientes PD, tendencia que es en la actualidad foco de discusión: aunque esta tipología de datos ha sido estudiada desde mediados de los años setenta (Hensher, 1994), la aplicación práctica de los mismos no se ha implantado de forma generalizada hasta hace poco menos de una década (Bradley, 2009). Por lo tanto, se aborda un tema de actualidad, al que se le ha ido asignando importancia creciente a lo largo de diversas investigaciones publicadas en los últimos años.

La recopilación de las 2 metodologías ha sido un aspecto clave para esta tarea, ya que estos enfoques no han sido objeto de numerosos estudios. Se ha conseguido reunir y sintetizar los que se han considerado más importantes, incorporando a las conclusiones de publicaciones más antiguas los principales avances propuestos para elaborar un “esqueleto metodológico”.

La generación de diseños eficientes parece haber alcanzado en la actualidad un grado de madurez suficiente para que pueda extenderse ampliamente su uso. Existe software adecuado para la realización de la tarea, y este documento pretende constituirse en un avance en cuanto a la uniformización y establecimiento de la metodología de estudio. Aunque el hecho de funcionar bien con tamaños de muestra reducidos supone un atractivo adicional frente a los diseños ortogonales, la independencia entre atributos y la eficiencia no son excluyentes: si se tienen indicios de que varios atributos tienen un comportamiento independiente sobre la elección de modo de transporte, puede imponerse esta propiedad. En este caso el diseño conseguido será más complejo, por lo que deben tomarse ciertas precauciones para que el experimento sea manejable para los encuestados.

Se ha utilizado un procedimiento secuencial sobre el mismo contexto de elección, hecho que rara vez se ha planteado en investigaciones anteriores. Generalmente el valor previo de los parámetros estimados necesario para realizar un diseño experimental eficiente se consigue a través de investigaciones previas, pero en este caso se ha realizado un diseño ortogonal *ad hoc* para el caso de estudio, lo que confiere mayor fiabilidad al experimento. Además, se ha realizado un re-diseño para el caso de A Coruña, con el objetivo de aprovechar la información obtenida en la etapa anterior para analizar la veracidad de nuevas hipótesis planteadas durante fases intermedias de la investigación.

También se ha implementado en el diseño eficiente una optimización conjunta de 2 experimentos de carácter restringido (uno de ellos contiene al otro), mediante la generación de parámetros previos de naturaleza bayesiana. La aplicación realizada ha mostrado la viabilidad de realizar un diseño eficiente que incluya más posibilidades en cuanto a atributos considerados y niveles de variación que un diseño ortogonal equivalente, manteniendo el coste de adquisición de datos y el tiempo de elaboración del experimento en valores aceptables.

CAPÍTULO 4

Desarrollo de las encuestas

4.1. Introducción

La recolección de datos mediante encuestas para estudios de modelización del reparto de modo de transporte constituye, junto al diseño de las mismas, una de las partes fundamentales en este tipo de estudios. No es posible concebir un diseño experimental y el formato de la encuesta sin antes conocer de forma clara la población objetivo del estudio, dónde se realizarán dichas encuestas y finalmente cómo será el procedimiento mediante el cual se llevarán a cabo.

En el capítulo anterior se avanzaron partes esenciales del desarrollo de las encuestas, cuyo contenido era necesario conocer a priori para comprender las razones que llevaron a la toma de algunas de las decisiones realizadas durante el diseño experimental. Sin embargo no se definieron en profundidad cada uno de los aspectos relacionados con el quién, el dónde y el cómo se realizarían las encuestas una vez se ha obtenido su diseño definitivo. Estos aspectos son determinantes a la hora de obtener unos datos de calidad para desarrollar así un modelo predictivo válido y coherente con el fenómeno asociado a los mismos.

En este capítulo se realiza una descripción detallada sobre estos aspectos, comenzando con la definición de la población objetivo, prosiguiendo con la justificación de las localizaciones consideradas así como las adaptaciones realizadas sobre la encuesta en función del contexto de estudio, y posteriormente se profundiza en el trabajo de campo realizado durante el proceso de recolección de datos. Para finalizar, se realiza una caracterización de las diferentes muestras obtenidas tras el tratamiento de los datos necesario para asegurar que las observaciones empleadas en una fase posterior son coherentes, fiables, y aportan capacidad explicativa a los modelos estimados.

En el presente capítulo se abordan de forma indirecta cuestiones relacionadas con las siguientes preguntas desagregadas de la investigación:

- ¿Cómo afecta el contexto del proyecto al *rail factor*?
- ¿Cómo afecta el *rail factor* a la capacidad de captación de viajeros no cautivos?
- ¿El grado de conocimiento de los sistemas de transporte público presentes en la red tiene influencia en el valor del *rail factor*?

4.2. Población objetivo: Los estudiantes universitarios

En la presente tesis se selecciona como población objeto de estudio a los estudiantes de universidades ubicadas en algunas ciudades de tamaño intermedio, y que por tanto son susceptibles de emplear habitualmente la red de transporte público durante esta etapa de su vida dedicada a los estudios. Los principales motivos de esta elección son los siguientes:

- Se trata de una población homogénea con un importante porcentaje de individuos que emplean el transporte público en sus desplazamientos habituales. Esta es probablemente la etapa de la vida en la que se hace uso del transporte público en más ocasiones, en la mayor parte de los casos.
- En general no se observa a priori ningún hábito adquirido en los desplazamientos debido a restricciones o condicionantes en los mismos, como por ejemplo desplazarse con otras personas a su cargo, lo que puede darse en fases posteriores de la vida de los individuos.
- Se trata de una etapa vital en la que se comienza a elegir de forma autónoma, en la que se prueban diferentes alternativas de transporte público y se desarrolla una imagen de las mismas. Además, en esta etapa el coche puede estar disponible de forma ocasional, ya sea como acompañante o bien como conductor. La alternativa coche como conductor no estaba disponible en etapas anteriores para esta población debido a que no disponían de permiso de conducción por cuestiones de edad mínima necesaria.
- Finalmente, es un colectivo compuesto por un amplio abanico de usuarios que poseen diferentes grados de conocimiento de la red de transporte, desde los recién llegados a la ciudad hasta usuarios más experimentados en el uso de la misma (usuarios habituales de la red de transporte).

Este último punto tiene gran importancia a la hora de considerar que esta población es adecuada para representar el fenómeno estudiado. En su tesis doctoral, que versa sobre la facilidad de uso del transporte público como una propiedad íntimamente

relacionada con la imagen percibida del mismo, Katrin Dziekan hace uso del concepto “usuario que dimensiona” como aquel con mayor necesidad de asistencia o ayuda del propio sistema para que pueda realizar un uso óptimo del mismo. Por tanto, si se cubren las necesidades de este tipo de usuario, el sistema de transporte también es adecuado para cualquier otro tipo de usuario. Aunque de forma general, y en lo que al ámbito del transporte se refiere, se han considerado históricamente como este tipo de usuarios a los pertenecientes a grupos tales como personas con movilidad reducida, ancianos, niños, embarazadas, etc., en este caso, y debido a la naturaleza de su estudio, Dziekan consideró apropiado definir como usuario tipo que dimensiona a las personas recién llegadas a la ciudad (Dziekan, 2008, p. 13). Esto se debe a que se trata de un colectivo que no ha tenido contacto previo con la red de transporte existente en la misma, y que por tanto no tiene una imagen prefijada de los sistemas de transporte existentes.

4.3. Localizaciones o ciudades seleccionadas

Las necesidades de movilidad de las áreas metropolitanas de tamaño intermedio (aquellas que poseen entre 100 000 y 2 000 000 de habitantes) suponen en la actualidad un reto importante para los diferentes actores de las sociedades involucradas. Estas áreas metropolitanas son el principal objeto de estudio de la investigación, ya que generalmente utilizan sistemas de transporte metropolitano de capacidad intermedia para dar servicio a estas necesidades de transporte, por lo que tanto el metro ligero como el autobús de alto nivel de servicio suelen estar presentes en el contexto, bien sea en el mercado actual o como parte de planes de transporte en previsión de realizarse. También pueden aparecer una serie de tecnologías intermedias, como por ejemplo el tranvía sobre neumáticos.

El tamaño de estas ciudades y de las áreas metropolitanas asociadas es en general suficiente como para albergar centros de enseñanza universitaria, por lo que las características de la red de transporte y la relación de la ciudadanía con la misma son los aspectos clave a la hora de seleccionar las ciudades objeto de estudio. Estos aspectos dependen a su vez de la localización geográfica, siendo las diferencias culturales existentes entre los distintos países y regiones europeas otro factor a tener en cuenta.

En la presente investigación se opta por considerar escenarios de ámbito nacional e internacional, abordándose en primer lugar la selección de estos últimos. En particular, se analizaron ciudades pertenecientes a 3 regiones que se consideraron representativas del estudio por disponer de al menos 1 de los 2 sistemas de transporte metropolitano de capacidad intermedia más representativos (es decir, LRT y BHLS). Estas regiones son los países de Suecia, Francia y el Reino Unido.

- Suecia: cuyas ciudades representativas son Estocolmo (que con 1 900 000 habitantes está en el límite del rango de población de una ciudad de tamaño intermedio), Gotemburgo (590 000 habitantes) y Jönköping (125 000 habitantes). Las 3 poseen sistemas BHLS en su red de transporte, aunque solamente las 2 primeras ofrecen el LRT como alternativa de transporte integrada en la red. Se ha descartado esta opción debido principalmente a la gran diferencia cultural que existe entre un país como España y los denominados países nórdicos, además de los problemas logísticos debidos al idioma y al escaso número de ciudades de tamaño intermedio de las que se han podido encontrar y analizar datos.
- Reino Unido: en este caso existe un mayor número de ejemplos de ciudades en las que está presente el BHLS, como por ejemplo Leeds, Cambridge/Cambridgeshire, Luton, Bradford, Swansea, York, Manchester y Edimburgo. Sin embargo esta abundancia de sistemas BHLS o de autobuses con corredores dedicados se traduce en una carencia en el número de sistemas LRT. Tal y como sucedió en Suecia y en Francia, los sistemas tranviarios fueron abandonados en favor de los autobuses en la década de 1950 y no se retomaron hasta finales de los 80, con el metro ligero de los Docklands de Londres en 1987 o el de Manchester en 1990. Hylén y Pharoah (2002) realizan un estudio en el que ponen de manifiesto que en ese momento solamente 12 localizaciones eran susceptibles de albergar un LRT de forma viable, entre las que se encontraban Bristol, Londres, Croydon, West Midlands, Sheffield, Manchester, Leeds, Nottingham y Portsmouth.

En cualquier caso existía un gran inconveniente en este estudio, ya que los sistemas de metro ligero simplemente se planificaron como proyectos de transporte en los que no se consideró de forma conjunta la variación de usos del suelo asociada a una actuación de este tipo. Por el contrario, en Francia los planes implantación de un LRT formaban parte fundamental de los planes de regeneración de las zonas afectadas. Otra diferencia existente en la cultura y estructura urbana entre ambos países es que en el Reino Unido el LRT se concibe para dar servicio a regiones sub-urbanas, mientras que en Francia se

hace hincapié en el servicio en zonas interiores de la ciudad. En Francia tanto el LRT como los sistemas de transporte en general están conectados a la ciudad en un sentido más amplio que en el Reino Unido, a las diferentes políticas tomadas en la misma e incluso a sus representantes políticos (que no tienen una dependencia tan marcada del gobierno central), a cuestiones medioambientales y al planeamiento urbanístico. Esto puede facilitar la implementación en Francia de proyectos de LRT respecto a otros países.

Finalmente se opta por Francia como la región objeto de estudio, ya que las características indicadas anteriormente facilitaron la implantación exitosa de varios SCI, tal y como puede verse en el punto siguiente.

- Francia: En 2010, 19 aglomeraciones francesas disponían al menos de una línea de tranvía o de metro (MEDE, 2010). Es el caso de París, Lille, Lyon, Marsella y Toulouse, con una red de metro y líneas de tranvía; Estrasburgo, Burdeos, Nantes, Montpellier, Grenoble, Saint-Étienne, Valenciennes, Rouen, Orleáns, Le Mans, Clermont-Ferrand, Mulhouse y Niza, con una o varias líneas de tranvía; y Rennes con una red de metro. Además, el número de ciudades con BHLS ascendía a 9, siendo un sistema guiado en Caen, Rouen y Nancy, y no guiado en Toulouse, Lyon, Nantes, Lorient, Maubeuge y París. Cabe destacar que en el contexto francés los términos metro, tranvía y autobús de alto nivel de servicio aluden a 3 tipologías de sistemas de “Transporte Colectivo en Sitio Propio” (CERTU, 2009), donde el término tranvía se corresponde con las características propias de un metro ligero en terminología española (para más información véase el capítulo 2).

Además de esta gran cantidad de ciudades en las que obtener los datos necesarios para el estudio, se considera que las diferencias entre la cultura francesa y la española, en lo que a estructura de las ciudades y sociedad se refiere, son menores que las existentes en otros casos. En el momento del citado estudio (año 2010) se preveía que al menos 8 ciudades más dispusiesen de un nuevo sistema de tranvía en 2014, así como un gran número de ampliaciones de líneas de sistemas de transporte colectivo en plataforma reservada en ciudades en las que ya existían, tal y como puede verse en la figura 4.2.



Fig. 4.1. Ciudades francesas que disponen de “transporte colectivo en sitio propio” (Fuente: MEDE, 2010, p. 3)

Todo lo anterior implica que se trata de un gran momento en el que realizar esta tesis basándose en Francia como escenario internacional, sin olvidar que en el estudio anteriormente mencionado, realizado por el *The Swedish National Road and Transport Research Institute* (Hylén & Pharoah, 2002), ya se elegía el contexto francés por el mismo motivo. Las implantaciones realizadas en este país pueden considerarse como referente para el estudio de sistemas exitosos de metro ligero como herramienta de ordenación urbana, que remodela el paisaje, favorece el comercio y acompaña al desarrollo urbano y socioeconómico. Del mismo modo el desarrollo de sistemas BHLS está en auge y esto se traduce en la necesidad de estudios de este tipo para prever el impacto que tendrán en los hábitos de movilidad de los ciudadanos de las poblaciones afectadas. Además, es importante hacer posible la comparación entre las consecuencias derivadas de la implantación de proyectos de LRT y de BHLS, que permitan justificar de la elección de uno u otro como alternativa de transporte más adecuada para las necesidades concretas de la sociedad en cada caso.

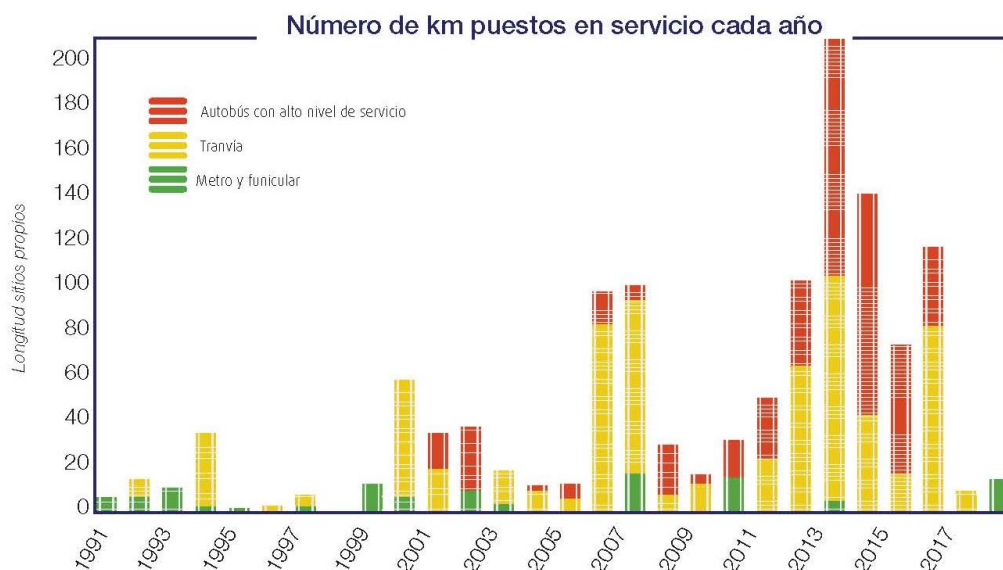


Fig. 4.2. Representación gráfica de la evolución y previsión del número de kilómetros de sistemas de “transporte colectivo en sitio propio” en ciudades francesas (Fuente: MEDE, 2010, p. 6)

Por lo tanto, las ciudades de tamaño intermedio objeto de estudio pertenecerán a los países de España y en Francia, mostrándose las principales características de las mismas en los apartados siguientes.

4.3.1. Ciudades españolas

Se debe recordar que la presente tesis se enmarca dentro del proyecto de investigación NASCI (comparación tecnológica, económica y de captación de usuarios de los Nuevos Avances en Sistemas de transporte metropolitano de Capacidad Intermedia), tal y como se destaca en el primer capítulo de la misma. Por lo tanto, el estudio de alguna de las ciudades españolas de tamaño intermedio que fuesen representativas del fenómeno estudiado ha formado parte de los objetivos de esta investigación desde que se concibe la misma.

A lo largo de la pasada década se han desarrollado sistemas de metro ligero en ciudades españolas como Bilbao (2002), Alicante (2003), Barcelona (2004), Madrid y Tenerife (2007), Vitoria (2008) y Sevilla (2009). En el momento en el que se comenzó con la investigación algunas ciudades del territorio contaban con un metro ligero en fase de construcción (Granada, Málaga, Murcia, Zaragoza y Jaén) o bien en diferentes etapas del proceso de planificación (A Coruña, Almería, Baleares, Córdoba, Gandía, Gijón, Huelva, Jerez de la Frontera, Santander, Santiago de Compostela, Segovia,

Toledo y Vigo). Es bien sabido que la situación económica provocó que en muchos casos los planes tuvieran que replantearse e incluso suspenderse, siendo el principal motivo considerado la inviabilidad económica de los proyectos.

En cuanto a las ciudades españolas que disponen de sistemas BHLS, la experiencia en este campo es escasa. Los principales ejemplos mencionados en la acción COST nº TU0603 se describen a continuación. Es importante destacar que los sistemas indicados no se corresponden con la definición estricta de sistemas BHLS en todos los casos, como por ejemplo el BUS – VAO en Madrid (para más información respecto a las características de un BHLS véase el capítulo 2).

- Madrid: se desarrolló en 1995, en el corredor de la autopista A-6, un sistema BUS – VAO de funcionamiento reversible que proporciona una doble ventaja: fomentar del uso del transporte público e incrementar la ocupación de los coches, mediante una gestión dinámica de la infraestructura. En este corredor el reparto modal del vehículo privado ha caído del 55.6% al 47.9%, a pesar de ser el corredor de más alto nivel socioeconómico (Finn et al., 2012). El sistema está complementado con una estación de autobuses subterránea en el barrio de Moncloa. La longitud de la actuación es de unos 16 kilómetros, siendo un 24% de ocupación exclusiva para el autobús y un 76% compartido con vehículos de alta ocupación, motocicletas y vehículos de emergencias.
- Barcelona: en la actualidad se está desarrollando la implantación de una nueva red mejorada de autobuses. El diseño de esta nueva red obedece a criterios tales como trazados tan rectilíneos como sea posible, nuevas infraestructuras para favorecer la velocidad y la regularidad, sistemas avanzados de información para los usuarios, reducción de los intervalos de paso (entre 5 y 8 minutos) en las horas punta durante los días laborables, programación de los semáforos para favorecer las nuevas líneas, etc. Se trata por tanto de una red que fomenta la innovación, la eficiencia, la facilidad de uso, la conectividad e inter-modalidad. Están planeadas 28 líneas (17 verticales, 8 horizontales y 3 diagonales), estando previsto que funcionen plenamente 16 de ellas en el año 2016, las cuales pueden verse en la siguiente figura:

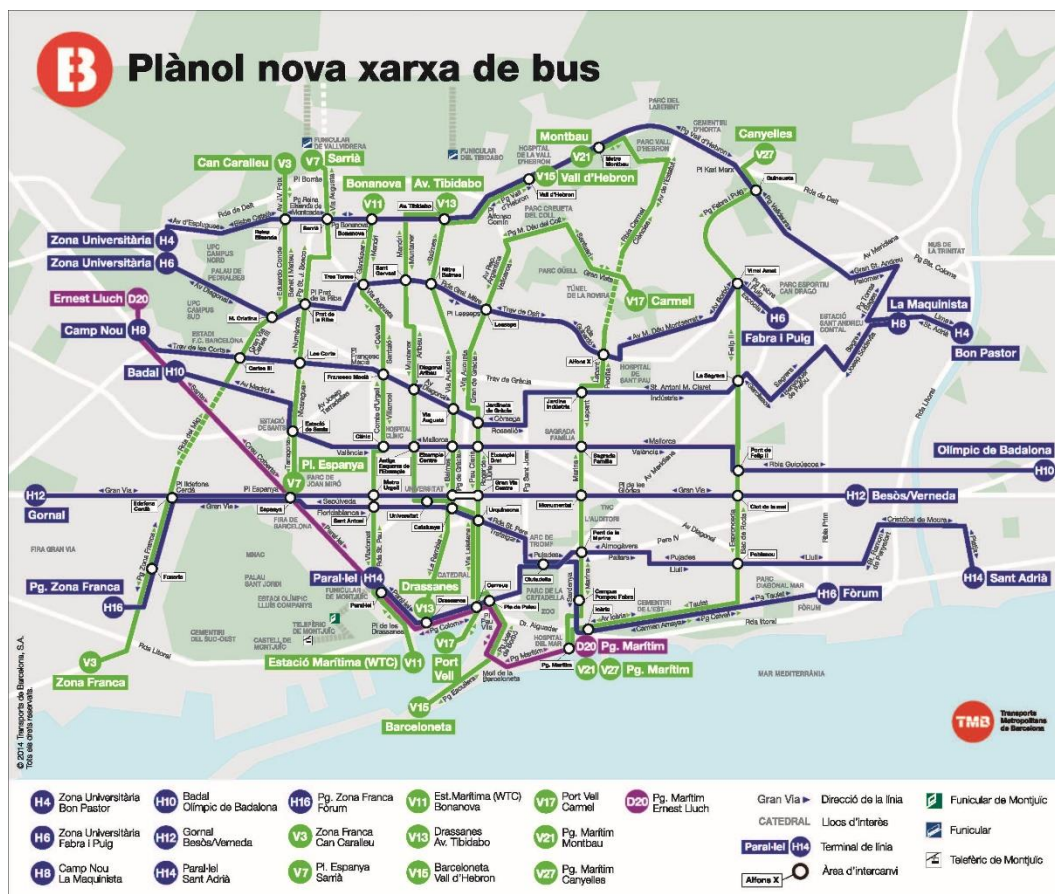


Fig. 4.3. Plano de la nueva red de autobuses de altas prestaciones en Barcelona. Previsión para el año 2016 (Fuente: Recuperado de <http://www.novaxarxabus.bcn.cat/es/>)

- Castellón: proyectadas 2 líneas de trolebús guiado (22 y 20 km) bien identificadas mediante un fuerte contraste del pavimento, lo que permite estructurar la red de transporte público de la ciudad. Este hecho, junto con el diseño de las paradas y la flota de vehículos dedicada, constituye un factor diferenciador con el resto del transporte público de la red. Se trata de un trolebús alimentado mediante pértigas y cuyo sistema de guiado es óptico (Finn et al., 2012). Los 2 primeros kilómetros se inauguraron en junio del año 2008, conectando la universidad con la estación de tren y un centro comercial. Actualmente el proyecto se encuentra paralizado, dándose por completada la línea 1 con una longitud de 8 kilómetros a finales de 2014.



Fig. 4.4. Vehículos y paradas pertenecientes al TRAM de Castellón -Transporte Metropolitano de la Plana. (Fuente: Finn et al., 2012)

- Vitoria-Gasteiz: dispone de una red mejorada de autobuses con circulación preferente por carril-bus cuando las restricciones de espacio lo permiten, espacios habilitados para evitar atascos en cruces en la medida de lo posible (denominados gateras), y priorización semafórica para el transporte público. Aunque no puede considerarse un sistema BHLS propiamente dicho, puesto que necesita mejorarse en algunos aspectos tales como el intervalo de paso (en algunas líneas vehículos cada 10 minutos de media en días laborables y cada 20 en fines de semana y festivos), se acerca a este concepto por lo elevado de sus prestaciones respecto al autobús tradicional. Existen 9 líneas diurnas y 6 nocturnas que aseguran un servicio ininterrumpido a lo largo del día y la noche.

Finalmente, las ciudades seleccionadas en la investigación como objeto de estudio en profundidad son A Coruña y Vitoria-Gasteiz. Merece la pena señalar que aunque Madrid y Barcelona reúnen gran parte de las características que se buscaban en la investigación, su inclusión no es adecuada ya que no se trata de ciudades de tamaño intermedio, por lo que los procesos derivados de la implantación de este tipo de sistemas (cuando se dan en ellas) son muy diferentes a los que se prevén en ciudades de tamaño intermedio.

4.3.1.1. A Coruña

El primer y más obvio de los motivos por los que se selecciona esta ciudad es que el grupo de investigación al que pertenece el doctorando se ubica en la universidad de la misma ciudad. Esto permite realizar las pruebas iniciales en campo (grupos de

discusión, encuestas piloto, contactos con profesores, etc.) sin que la asignación de recursos sea demasiado elevada.

Por otro lado, y aunque no existan sistemas de transporte de capacidad intermedia, a lo largo de más de una década el autobús compartía escenario con un sistema ferroviario, el tranvía, que si bien estaba destinado casi exclusivamente a trayectos turísticos a lo largo del paseo marítimo, puede haber influido en la imagen que los habitantes tienen respecto a los transporte ferroviarios urbanos. Esto supone la posibilidad de realizar un estudio adicional a través de una encuesta complementaria (para más información véase capítulo 3).

Las principales características de la ciudad de A Coruña se presentan en la tabla siguiente.

Ubicación	Noroeste de España (Galicia)	
	Latitud	43°22'17"N
	Longitud	08°23'46"W
Núcleo de población (datos 2013)	Número de habitantes	245 923
	Densidad de población (hab/km ²)	6 471.32
Área metropolitana de Influencia (datos 2013) <i>(es.wikipedia.org)</i>	Número de habitantes	417 568
	Densidad de población (hab/km ²)	778.40
Tipo de climatología	Oceánico (meridional – marítimo)	
Red de transporte público		
Sistemas de transporte de capacidad intermedia (SCI)	No	
Sistemas de transporte convencionales	Autobús	24 líneas + 1 nocturna
	Tranvía turístico	1 línea (no operativa)

Tabla 4.1. Resumen de características de la ciudad de A Coruña (Fuente: Elaboración propia a partir de datos públicos)

Además, en A Coruña se había iniciado la planificación de un proyecto para la implantación de 3 líneas de metro ligero (una de ellas desde el centro de la ciudad a la universidad), que finalmente se ha paralizado por cuestiones económicas. La implantación de un BHLS equivalente podría plantearse como alternativa viable (en términos económicos) pero surge la duda de si los resultados de captación de viajeros así obtenidos serían equiparables a los logrados con un sistema de metro ligero.

4.3.1.2. Vitoria-Gasteiz

Los principales motivos por los que se selecciona Vitoria-Gasteiz como ciudad objeto de estudio de referencia en el ámbito nacional son los siguientes:

- Aunque existía escasa experiencia en España en la implantación de sistemas de autobuses de altas prestaciones, esta ciudad se embarcó en un proyecto de mejora de su propia red con resultados bastante exitosos.
- Dispone de un sistema ferroviario SCI (metro ligero, aunque se denomine en España comúnmente como tranvía). Este sistema consta de 2 líneas, que parten desde el noroeste y nordeste de la ciudad, y confluyen en su centro discurrendo hacia el sur como una sola, tal y como puede verse, en negro, en la siguiente figura:

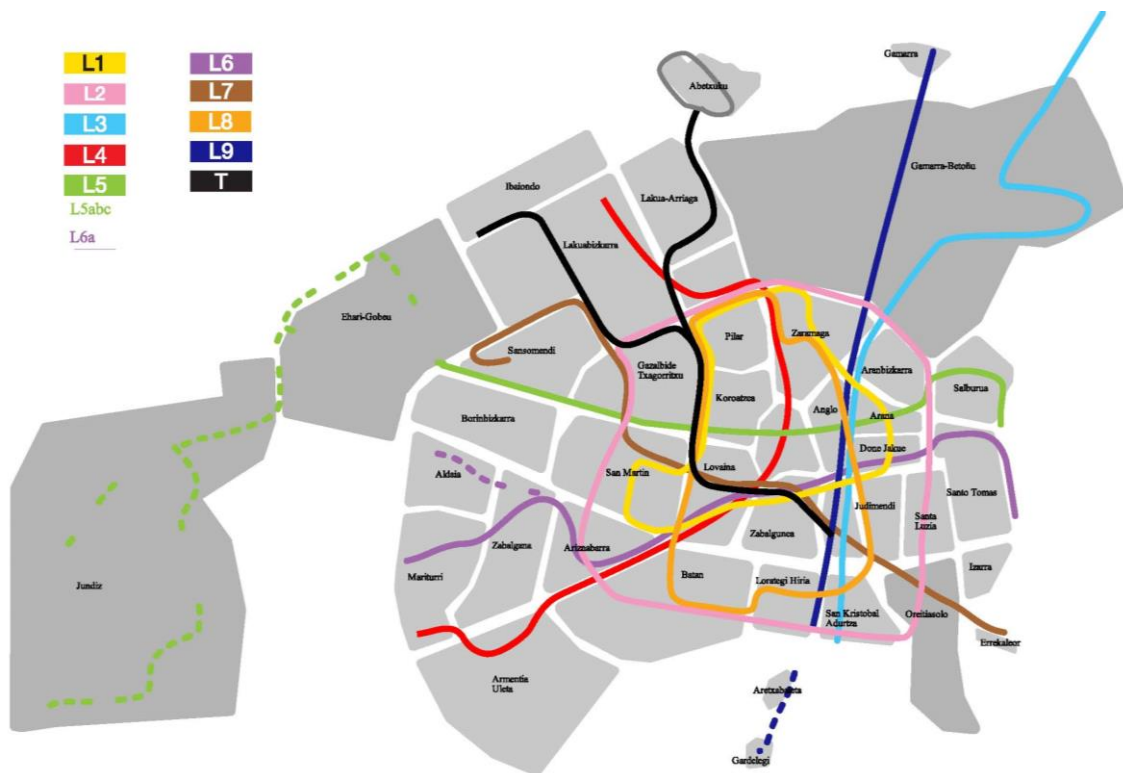


Fig. 4.5. Plano simplificado de la red de transporte público de la ciudad de Vitoria-Gasteiz. (Fuente: Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gasteizko_autobus_sarea_2010.svg#/media/File:Gasteizko_autobus_sarea_2010.svg ; Elaborado por Asier Sarasua a partir del Vitoria-Gasteiz City Council. Licencia: Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported)

La implantación de este sistema es un ejemplo en lo que a planificación y servicio se refiere, empleando vehículos, carriles y marquesinas como elemento diferenciador con los colores de la marca, ofreciendo información en

tiempo real en paradas con un código de colores en función del destino del vehículo que se aproxima, creando una guía de convivencia con el tranvía y fomentando campañas de sensibilización a la población, etc.

- La red de transporte público de Vitoria-Gasteiz ha sido concebida de forma global, dando diferentes soluciones a los ciclistas, creando aparcamientos disuasorios (P+R), nuevas políticas de precios e integración tarifaria, etc., lo que sin duda fue relevante a la hora de la concesión del título oficial de *European Green Capital* durante el año 2012.

A continuación se presenta la tabla resumen con las principales características de la ciudad de Vitoria-Gasteiz.

Ubicación	Norte de España (País Vasco)	
	Latitud	42°50'48"N
	Longitud	02°40'23"W
Núcleo de población (datos 2013)	Número de habitantes	241 386
	Densidad de población (hab/km ²)	-
Área metropolitana de Influencia (datos 2014) <i>(es.wikipedia.org)</i>	Número de habitantes	314 730
	Densidad de población (hab/km ²)	874.54
Tipo de climatología	Mixtos oceánico - continental (microclima)	
Red de transporte público		
Sistemas de transporte de capacidad intermedia (SCI)	Metro ligero	2 líneas (confluentes)
	Sistemas de transporte convencionales	Autobús (mejorado) 9 líneas + 2 especiales+ 6 nocturnas

Tabla 4.2. Resumen de características de la ciudad de Vitoria-Gasteiz (Fuente: Elaboración propia a partir de datos públicos)

4.3.2. Ciudades francesas

El primer objetivo perseguido a la hora de seleccionar ciudades del ámbito francés es el de realizar al menos una comparación razonable con la ciudad española de referencia (Vitoria-Gasteiz). Por lo tanto se busca una ciudad de tamaño intermedio que disponga de LRT y BHLS o al menos sistema de autobús con prestaciones mejoradas, siendo las ciudades que cumplen estas condiciones, y que por tanto son

tomadas como candidatas, Rouen (2 líneas de metro ligero y 3 de BHLS) y Nantes (3 líneas de metro ligero y 1 de BHLS). Cabe destacar que Nantes ha sido la opción preferida a priori ya que entre otros motivos fue la sucesora de Vitoria-Gasteiz en el título oficial de *European Green Capital* en el año 2013, aunque tal y como se presenta a lo largo de este análisis, la disposición a colaborar por parte de las instituciones y profesores contactados es otro aspecto clave a la hora de seleccionar las ciudades objeto de estudio. Afortunadamente en este caso varios profesores de la ciudad en cuestión se mostraron dispuestos a cooperar con la investigación, tal y como puede verse en el siguiente apartado. Por lo tanto Nantes es la primera ciudad francesa seleccionada.

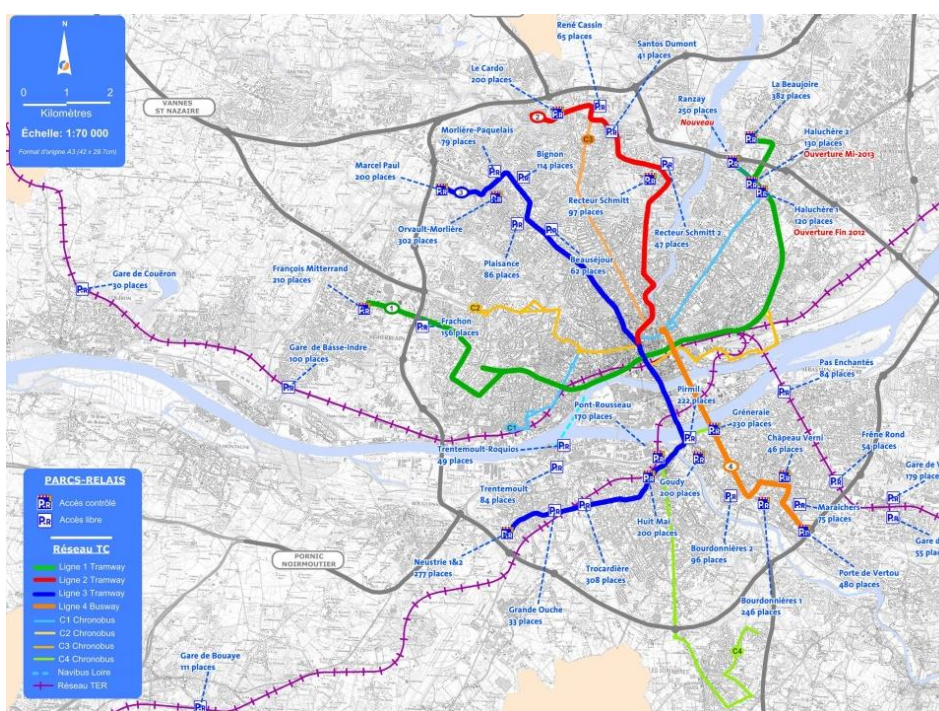


Fig. 4.6. Plano de la red de transporte público de la ciudad de Nantes (Fuente: Recuperado de http://es.nantes-tourisme.com/sites/default/files/brochure/file/parcs-relais_nov2012_1.pdf)

Como puede observarse la ciudad presenta 3 líneas de metro ligero (en rojo, azul y verde en la figura 4.6.) y 1 línea de autobús de BHLS no guiado, la línea 4 (en naranja en la figura 4.6.), conocida como BusWay. Para más información respecto a esta línea puede consultarse el análisis en profundidad realizado por Conles, Novales, Orro y Anta (2014). Estas líneas actúan como vertebradoras de la red de transporte público, la cual se completa con un sistema de autobús convencional.

Las características principales de la ciudad de Nantes se presentan en la tabla siguiente.

Ubicación	Oeste de Francia (Países de Loira)	
	Latitud	47°13'02"N
	Longitud	01°33'14"W
Núcleo de población (datos 2009)	Número de habitantes	282 000
	Densidad de población (hab/km ²)	4 327
Área metropolitana de Influencia (datos 2009) <i>(en.wikipedia.org)</i>	Número de habitantes	582 000
	Densidad de población (hab/km ²)	1 112
Tipo de climatología	Oceánico	
Red de transporte público		
Sistemas de transporte de capacidad intermedia (SCI)	Metro ligero	3 líneas
	BHLS (BusWay)	1 línea
Sistemas de transporte convencionales	Autobús	54 líneas (Nantes Métropole)

Tabla 4.3. Resumen de características de la ciudad de Nantes (Fuente: Elaboración propia a partir de datos públicos)

Adicionalmente a la selección de la ciudad de Nantes se considera interesante tomar datos en otras ciudades francesas de tamaño intermedio, con el objetivo de analizar escenarios diferentes en lo que a sus redes de transporte se refiere, y por tanto, en la imagen del transporte público percibida por los usuarios. Los principales aspectos tenidos en cuenta en esta selección son los siguientes:

- La presencia de sistemas de capacidad intermedia en convivencia con sistemas de transporte que dispongan de plataforma independiente o categoría A según Vuchic (2007), es decir, en la que no se permiten intersecciones a nivel y la circulación es en vías físicamente separadas del resto del tráfico en todo momento. Las ciudades candidatas en este caso serían las 5 primeras mostradas en la figura 4.7. (Lille, Toulouse, Lyon, Marsella y Rennes).
- La presencia simultánea de un sistema LRT y un sistema de autobús convencional, como posible escenario en el que se podría implantar un nuevo SCI, en cuyo caso debe evaluarse si es aconsejable seguir con la misma política o por el contrario puede ser beneficioso introducir un BHLS equivalente.

Como ciudades candidatas más importantes destacan Estrasburgo, Montpellier, Grenoble, St. Étienne, Valenciennes y Niza.

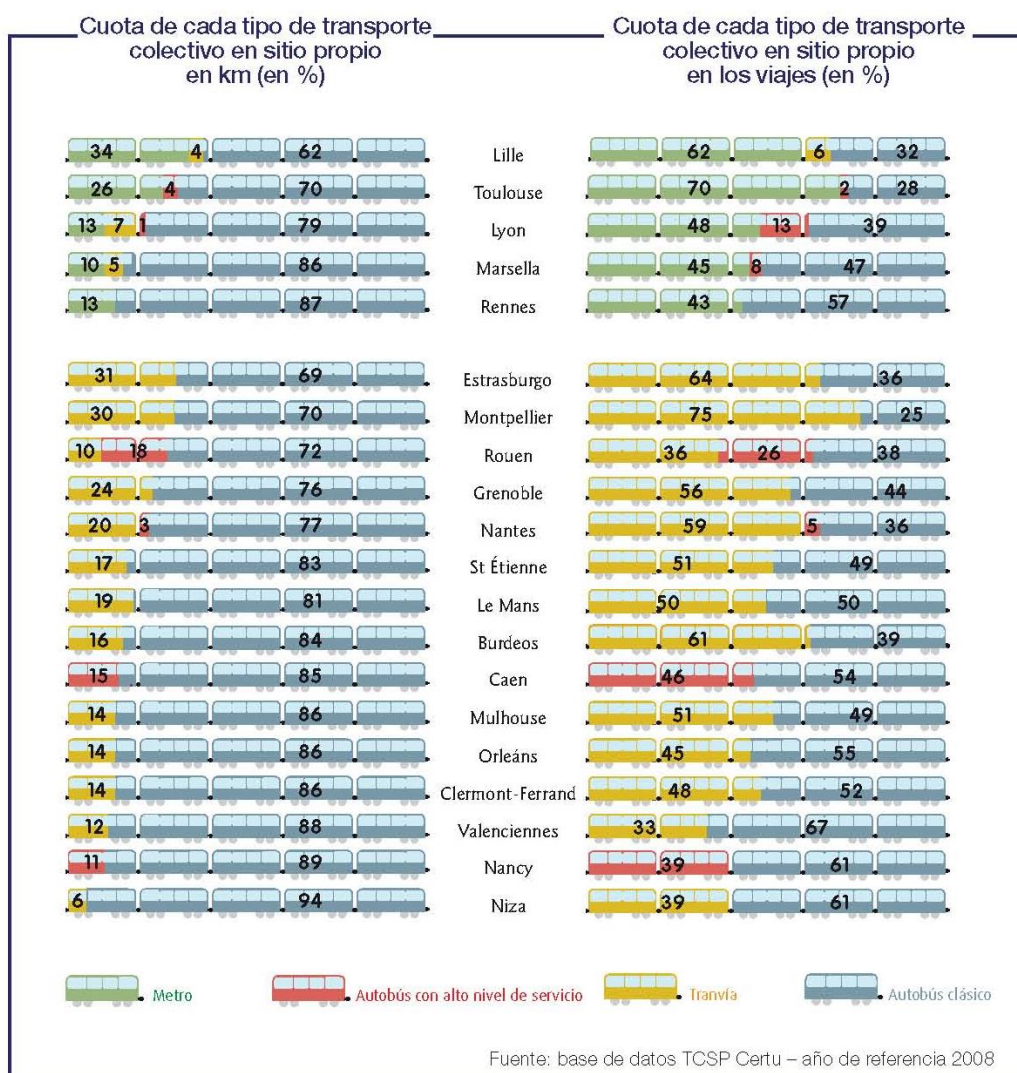


Fig. 4.7. Cuotas para cada tipo de “transporte público colectivo en sitio propio” en diferentes ciudades francesas (Fuente: MEDE, 2010, p. 8)

Las ciudades en las que se han obtenido colaboraciones por parte de las instituciones fueron las siguientes:

- Lille: se trata de la mayor de las ciudades y áreas metropolitanas estudiadas, por lo que la red de transporte es considerablemente mayor y más jerarquizada que cualquiera de las anteriores. Dispone de 2 líneas de VAL (vehículo automático ligero) el cual tiene especificaciones de “metro ligero” en términos franceses (es decir, categoría A de uso de plataforma). Este convive con 2 líneas de LRT que confluyen en el centro de la ciudad, y con una compleja red de autobuses que cubre el área metropolitana. La red de autobuses consta de

6 líneas troncales mejoradas (altas prestaciones, aunque no llegan a ser BHLS tal y como sucedía con Vitoria-Gasteiz), 17 interurbanas a las distintas zonas de la periferia y lugares clave de la región, y 65 urbanas. Las principales características del área metropolitana de Lille se presentan en la tabla siguiente.

Ubicación	Norte de Francia (Norte-Paso de Calais)	
	Latitud	50°37'55"N
	Longitud	03°03'27"E
Núcleo de población (datos 2006)	Número de habitantes	226 014
	Densidad de población (hab/km ²)	6 489.06
Área metropolitana de Influencia (datos 2006) <i>(en.wikipedia.org)</i>	Número de habitantes	1 091 438
	Densidad de población (hab/km ²)	1 785
Tipo de climatología	Oceánico	
Red de transporte público		
Sistemas de transporte con plataforma Cat. A	VAL	2 líneas
Sistemas de transporte de capacidad intermedia (SCI)	Metro ligero	2 líneas
Sistemas de transporte convencionales	Autobús	7 líneas mejoradas ("Liane") 17 líneas interurbanas ("Citadine") 65 líneas urbanas

Tabla 4.4. Resumen de características de la ciudad de Lille (Fuente: Elaboración propia a partir de datos públicos)



Fig. 4.8. Sistemas de transporte en Lille: VAL (a), LRT (b) y autobús mejorado (c) (Fuente: Recuperado respectivamente de <http://strictlysubway.com/europe/lille/> ; <http://lillangues.com/lille/decouvrir-lille/> ; <http://www.wambrechies.fr/Habiter-a-Wambrechies/Se-deplacer>)

Lille

Métro et tramway

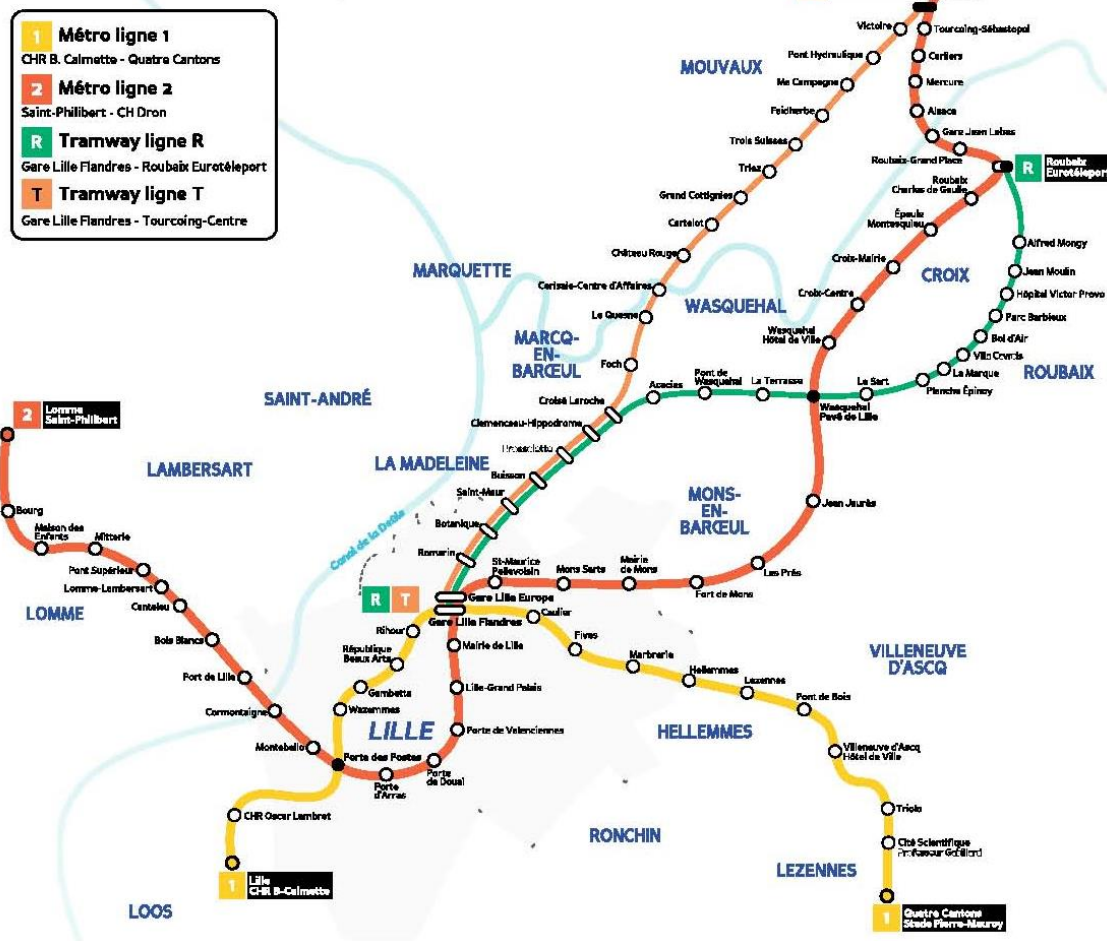


Fig. 4.9. Plano de los sistemas ferroviarios de la red de transporte de la ciudad de Lille (Fuente: Recuperado de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/18/Metro_tram_Lille.svg ; Licencia: GNU Free Documentation License)

- Valenciennes: se ubica muy cerca de Lille y la red de transporte de su área de influencia principal se estructura en torno a 5 polos fundamentales: Anzin, Denain, Saint-Waast, Gare SNCF y la universidad. Los sistemas de transporte público en el área metropolitana son el metro ligero (2 líneas confluyentes en el centro de Valenciennes), autobuses mejorados o líneas esenciales (6 líneas), autobuses suburbanos principales (6 líneas) y autobuses urbanos (26 líneas).

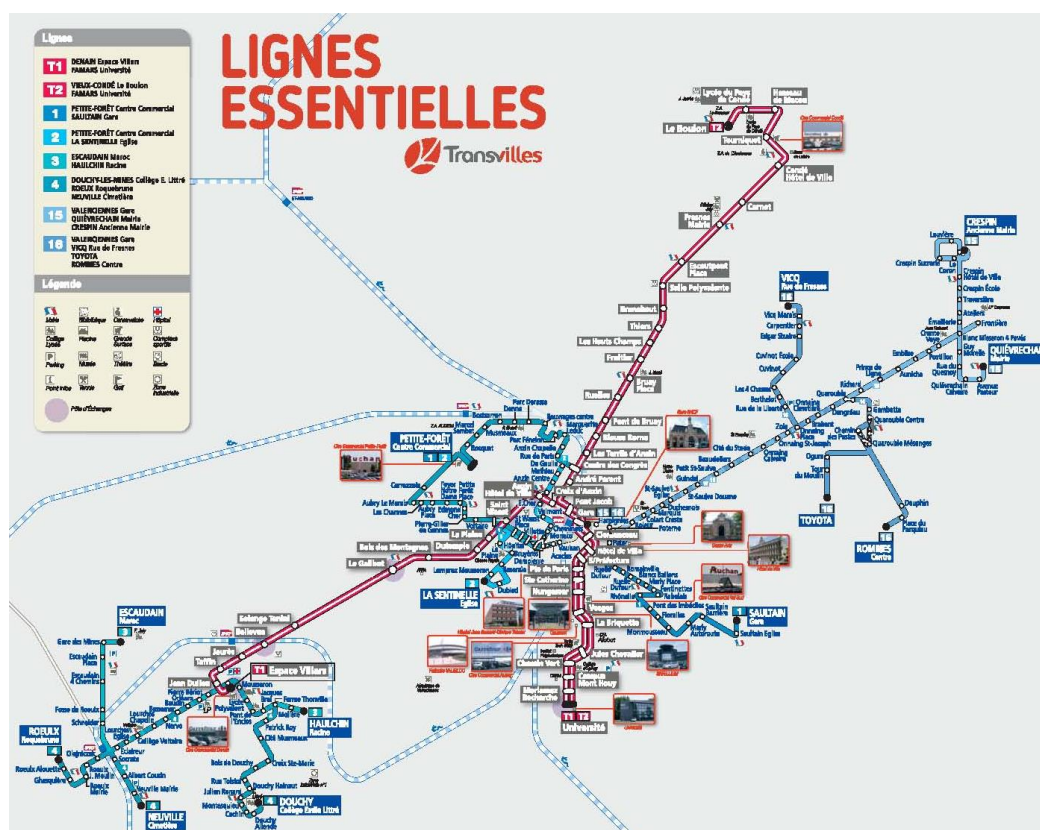


Fig. 4.10. Plano de las líneas esenciales en el área metropolitana de Valenciennes (Fuente: Recuperado de http://www.transvilles.com/presentation/?rub_code=1)

Ubicación	Norte de Francia (Norte-Paso de Calais)	
	Latitud	50°21'33"N
	Longitud	03°31'30"E
Núcleo de población (datos 2007)	Número de habitantes	42 670
	Densidad de población (hab/km ²)	3 090
Área metropolitana de Influencia (datos 2009) (www.tourismevalenciennes.fr)	Número de habitantes	349 038
	Densidad de población (hab/km ²)	549.8
Tipo de climatología	Oceánico	
Red de transporte público		
Sistemas de transporte de capacidad intermedia (SCI)	Metro ligero	2 líneas
Sistemas de transporte convencionales	Autobús	4 líneas mejoradas (Esenciales) 4 líneas suburbanas (Principales) 12 líneas urbanas

Tabla 4.5. Resumen de características de la ciudad de Valenciennes (Fuente: Elaboración propia a partir de datos públicos)

En la tabla anterior se muestran las características de la red de transporte de la ciudad de Valenciennes (entendiendo como tal el núcleo urbano).

- Clermont-Ferrand: por último se considera la ciudad de Clermont-Ferrand, que también se encuadra en el segundo grupo de ciudades francesas (presencia simultánea de SCI y de autobús convencional), pero que presenta una diferencia notable con Valenciennes: en el caso de Clermont-Ferrand el SCI es un metro ligero sobre neumáticos (Translohr), que combina el guiado ferroviario mediante carril central con la rodadura de los vehículos de carretera. La red de transporte de su área metropolitana se completa con 2 líneas de autobuses mejorados y 20 líneas de autobús urbano. Las características del núcleo urbano propiamente dicho se muestran en la tabla siguiente:

Ubicación	Centro de Francia (Auvernia)	
	Latitud	45°46'47"N
	Longitud	03°05'13"E
Núcleo de población (datos 2011)	Número de habitantes	141 569
	Densidad de población (hab/km ²)	3 300
Área metropolitana de Influencia (datos 2011) <small>(en.wikipedia.org)</small>	Número de habitantes	467 178
	Densidad de población (hab/km ²)	350
Tipo de climatología	Continental	
Red de transporte público		
Sistemas de transporte de capacidad intermedia (SCI)	Metro ligero (sobre neumáticos)	1 línea
Sistemas de transporte convencionales	Autobús	2 líneas mejoradas 15 líneas urbanas

Tabla 4.6. Resumen de características de la ciudad de Clermont-Ferrand (Fuente: Elaboración propia a partir de datos públicos)

4.4. Proceso de recolección de datos

4.4.1. Estrategia de recolección de datos

Tal y como se ha descrito en el capítulo anterior, en la presente investigación se emplearon cuestionarios auto cumplimentados en formato papel para realizar la

recolección de la muestra o muestreo. El muestreo es el procedimiento por el cual, de un conjunto de unidades que forman el objeto de estudio (la población), se elige un número reducido de unidades (muestra) aplicando unos criterios tales que permitan una cierta generalización de los resultados obtenidos. Existen 2 tipologías de muestras (para más información véase Corbetta, 2007, pp. 282-296):

- Probabilísticas: cuando las unidades que la componen se extraen de la población con una probabilidad conocida (y distinta de cero). El principal inconveniente de este tipo de muestreo es que es necesario disponer de un listado o censo de la población que permita elegir a los encuestados de forma aleatoria. Existen varios tipos de muestreo que emplean esta metodología, como el muestreo aleatorio simple, el muestreo estratificado, el muestreo de estadios múltiples, el muestreo sistemático y el muestreo por conglomerados.
- No probabilísticas: que se emplean cuando el diseño probabilístico no es posible por cuestiones operativas, por falta de información relativa al censo de posibles encuestados o a los grupos de los mismos, etc. Las tipologías más comunes son el muestreo por cuotas, el muestreo de bola de nieve y el muestreo subjetivo por decisión razonada.

Debido a la naturaleza del fenómeno estudiado no es posible disponer de una lista nominal de todos los miembros de la población, es decir, de los estudiantes universitarios de cada una de las ciudades de tamaño intermedio. Por tanto el tipo de muestreo empleado es no probabilístico.

Para la encuesta piloto se considera un muestreo por conveniencia, obteniéndose una muestra de 113 alumnos y alumnas de escuela universitaria en la que los miembros del grupo de investigación (del que el doctorando es parte) desarrollan sus actividades.

En el muestreo realizado con la encuesta final, y con el objetivo de mitigar en la mayor medida posible los efectos de los sesgos que pueden surgir mediante un procedimiento de muestreo no probabilístico, se toman una serie de precauciones entre las que destacan las siguientes:

- Para cada una de las ciudades se realizan las encuestas en tantas escuelas y facultades universitarias como es posible.
- Además, se consideran alumnos y alumnas de las diferentes titulaciones correspondientes a cada escuela o facultad.

- También se busca obtener datos de individuos que pertenezcan a distintos cursos de cada titulación, e incluso a diferentes asignaturas y grupos dentro de un mismo curso cuando esto es posible.
- El hecho de realizar las encuestas a clases completas de alumnos, y en horario académico, es otra medida que puede mitigar los efectos de posibles sesgos. De esta forma se obtiene un ratio elevado de aceptación de la encuesta, lo que implica que no responden solamente los alumnos y alumnas más comprometidos con este tipo de colaboración. Es cierto que puede introducirse con esta consideración otro sesgo, al no captar información de alumnos que no acuden a clase. Sin embargo el número de estos alumnos es reducido, ya que con los planes europeos de estudio la asistencia es obligatoria para la mayor parte de los mismos. Además, estos últimos son los que no se desplazan, por lo que no son tan interesantes para esta investigación como los que sí lo hacen.

Las conclusiones obtenidas tras investigaciones previas realizadas por el doctorado fueron otro de los motivos para considerar la realización de las encuestas durante el tiempo destinado a las clases. La realización de la encuesta en destino, en un ambiente conocido y sin la necesidad de desvelar información personal (socioeconómica) directamente a una persona desconocida (encuestador), favorece el ratio de aceptación respecto a las encuestas a bordo del modo de transporte en el desplazamiento el propio día de la encuesta (Anta et al., 2016).

Al tratarse de un cuestionario auto cumplimentado es necesario que todos los aspectos relacionados con el ejercicio de elección PD queden claramente definidos para los encuestados antes de realizar el ejercicio de elección. Esto se consigue con una adecuada redacción de la historia descriptiva previa al mismo.

También puede ser aconsejable la presencia de un encuestador que resuelva las posibles dudas que se plantean los encuestados de forma colectiva. Mientras que en la ciudad de A Coruña este encuestador es el propio doctorando, para el resto de ciudades se confía en el buen criterio de los propios profesores, a los que se proporcionan una serie de instrucciones con el fin de estandarizar el proceso de realización de la encuesta.

4.4.2. Encuestas de cada localización: diferencias

Puesto que las encuestas se desarrollan en contextos geográficos y sociales diferentes es necesario realizar pequeñas adaptaciones en las mismas para tener en cuenta las diferencias existentes entre las distintas localizaciones. Gran parte de las adaptaciones realizadas se muestran en el capítulo anterior, por lo que este apartado se centra en detallar las diferencias existentes en la sección de datos PR así como la justificación de las citadas adaptaciones en la sección PD.

4.4.2.1. Sección PR de las encuestas

Esta sección se estructura en 3 apartados que se mantienen en todas las localizaciones:

1. Datos individuales socioeconómicos: tales como edad, sexo y nivel de gasto (excluyendo vivienda y alimentación).
2. Elección actual de modo: con preguntas relativas al modo de transporte elegido, las alternativas disponibles para el desplazamiento, tiempos y costes de este desplazamiento y datos adicionales en función de si el viaje se realiza en transporte público o en vehículo privado.
3. Transporte público: apartado que deben cubrir todos los encuestados, en el que se describe el tipo de tarifa por la que optan. También se realizan preguntas relativas a la experiencia de cada encuestado con la red de transporte de la ciudad.

La adaptación más evidente se realiza en el tercer apartado, ya que con el objetivo de hacer que la experiencia sea más realista se indican las diferentes integraciones tarifarias según la ciudad correspondiente: tarjeta Millenium o de Transporte Metropolitano de Galicia para A Coruña, y Tarjeta BAT (vigente desde 2013) para Vitoria-Gasteiz. En el caso de las ciudades francesas se pide indicar el periodo de vigencia del abono (semanal, mensual o anual) y el tipo de colectivo al que pertenece (general, joven/estudiante o abono social) cada encuestado.

4.4.2.2. Sección PD de las encuestas

En este caso las principales adaptaciones se realizan en 3 aspectos:

- Historia descriptiva: para la ciudad de A Coruña se plantea un desplazamiento desde el centro de la ciudad hasta el Campus de Elviña, mientras que para las ciudades francesas y para Vitoria-Gasteiz se plantea un desplazamiento en el ámbito urbano de 5 kilómetros de longitud. Con esto se consigue estandarizar los cuestionarios sin la necesidad de información adicional respecto a las ubicaciones de las escuelas y facultades universitarias en cada ciudad.
- Coste del aparcamiento: tal y como se muestra en el capítulo 3, el coste es el único atributo que sufre cambios en los valores de sus niveles en función de la ubicación considerada. En cuanto al ámbito español, se fija una tarifa horaria de 0.4 €/h, correspondiendo los niveles de este atributo a aparcamiento gratuito, 3 horas y 6 horas (siendo las 2 últimas opciones de pago). Se toma este valor tanto para Coruña como para Vitoria-Gasteiz, que es ligeramente inferior a la media del coste horario por aparcamiento en ambas ciudades. Esto es debido a que en ambos casos es posible encontrar aparcamiento en las inmediaciones de los campus sin necesidad de pagar por ello, por lo que se persigue un mayor realismo en el experimento. En lo referente a ciudades francesas se procede de forma similar, es decir, imponiendo un coste horario y considerando los 3 niveles de variación como asociados a aparcamiento gratuito, pago por 3 horas y pago por 6 horas. El coste de referencia se fija igual a 0.55 €/h, y se calcula a partir de la relación entre los PIB de ambos países para el año 2012.

Pais	Poblacion (hab)	PIB (billonesde €)	PIB/hab (€)
España	46 815 910	1.0429	22 276.017
Francia	64 932 339	2.0870	32 140.056

Tabla 4.7. Datos de población y PIB de España y Francia en 2012 (Fuente: Recuperado ec.europa.eu/eurostat)

- Coste de las tarifas del transporte público:
 - A Coruña: tarifa base para el nivel medio de 1.10 €, variando un 33% para los 2 niveles (superior en inferior) restantes.
 - Vitoria-Gasteiz: tarifa base de 1 €, es ligeramente inferior debido a las diferencias en cuanto a la integración tarifaria de esta ciudad. Este mismo motivo sugiere una variación mayor (de un 45%) en torno a este valor, quedando una tarifa de 0.55 € y 1.45 € para los niveles inferior y superior de este atributo (respectivamente).





Tarifas, trasbordos y medios de pago	 Autobús diurno	 Gautxori	 Baskonia y cementerios (ida y vuelta)	 Tranvía
Billete sencillo, pago en efectivo	1.15	1.85	1.4	1.35 (día 4.20)
Billete sencillo, ida vuelta, pago en efectivo	1.45	---	---	---
Tarjeta BAT / monedero pase	0.56	1.39	---	0.7
Billete sencillo, pago en efectivo.Familias numerosas(presentando carné de familia numeros y DNI)	0.8	1.4	1	---
Billete sencillo ida y vuelta, pago en efectivo.Familias numerosas(presentando carné de familia numeros y DNI)	1.05	---	---	---
Billete sencillo, pago en efectivo.Familias num. esp(presentando carné de familia numeros y DNI)	0.5	0.9	0.65	---
BAT berezi	0.11	1.35	---	0.28
BAT familias numerosas	0.45	1.11	--	0.55 € (BAT berezi 0.20)
BAT familias numerosas esp	0.28	0.7	---	0.35 € (BAT berezi 0.15)
Monedero PASE (>65 años y personas con discapacidad >65%)	0.11	1.35	---	----
Monedero PASE (personas con discapacidad igual o mayor al 33% y menor que el 66%)	0.11	1.35	---	----

Tabla 4.8. Coste de un desplazamiento en transporte público en la ciudad de Vitoria-Gasteiz (Fuente: Recuperado en www.vitoria-gasteiz.org)

- Ciudades francesas: Se opta por una tarifa media para todas las ciudades, en la que se toma como referencia 1.4 €. Este valor se basa en los precios del billete sencillo y de los distintos tipos de abonos para las ciudades implicadas. De nuevo se la somete a una variación del 33% para los niveles inferior y superior, como en el caso de A Coruña.

Ciudad	Coste billete sencillo (€)	
	Individual	10 Viajes
Nantes (1)	1.38 - 2	-
Lille (2)	1.5	12.5
Valenciennes (3)	1.5	10.3
Clermont-Ferrand (4)	1.4	12.2

Tabla 4.9. Coste de un desplazamiento en transporte público en ciudades francesas empleando billetes sencillos (Fuente: Recuperado en www.tan.fr (1); www.transpole.fr (2); www.transvilles.com (3); www.t2c.fr (4))

Los valores considerados para estos costes de transporte público en cada una de las encuestas se mostraron en el apartado correspondiente del capítulo anterior. Pueden consultarse los datos empleados y todos los detalles de las consideraciones realizadas para su obtención en el anexo A11.

Todos estos cambios se corresponden con las encuestas cuyo diseño se denomina como encuesta final en el capítulo 3. Para la encuesta denominada complementaria,

realizada solamente en A Coruña, la única diferencia de formato respecto a la encuesta final es el cambio de la etiqueta del modo de transporte público ferroviario, que pasa a denominarse “metro ligero” en lugar de “tranvía”.

Por último cabe destacar que para la traducción de ambas secciones del cuestionario al idioma francés se contrataron los servicios de traducción profesionales de un traductor nativo.

4.4.3. Teoría de muestras en el proceso de recolección de datos

4.4.3.1. Error de muestreo

Una muestra es un conjunto de n unidades de muestreo seleccionadas entre las N unidades que componen la población, siendo el muestreo el procedimiento seguido para elegir las n unidades.

La estimación de la muestra estará afectada por un error denominado error de muestreo (e) que es la diferencia entre el valor del parámetro de la población y el valor hallado mediante la muestra. Si la muestra es probabilística puede calcularse la magnitud de dicho error, por ejemplo, en un muestreo aleatorio simple el error de muestreo se calcula mediante la expresión siguiente:

$$e = z\sigma(\bar{X}) = z \frac{s}{\sqrt{n}} \sqrt{1-f} \quad (4.1)$$

donde:

$\sigma(X)$ es el error típico de la media muestral

z es el grado de confianza de la estimación

s es la desviación típica muestral de la variable analizada

n es el tamaño de la muestra

$1-f$ es el factor de corrección para poblaciones finitas, donde f es la fracción de muestreo ($f=n/N$)

Si se trabaja con variables categóricas la expresión del error muestral es diferente, por lo que este se halla a partir de la siguiente expresión:

$$e = z \frac{\sqrt{pq}}{\sqrt{n-1}} \sqrt{1-f} \quad (4.2)$$

donde:

z , n y f tiene el mismo significado de la fórmula anterior

p es la proporción en la muestra para la categoría de examen

$q = 1 - p$

4.4.3.2. Tamaño mínimo de muestra

Existen 3 estrategias de muestreo que se emplean habitualmente a la hora de realizar estimaciones de modelos de elección discreta a partir de datos basados en la elección: muestreo aleatorio simple, muestreo aleatorio estratificado y muestreo basado en la elección. Este último solo se utiliza en estudios en los que se conoce a priori el reparto modal, y no puede emplearse cuando se consideran datos PD en los que se introduce una alternativa de transporte no existente en el mercado actual (Rose & Bliemer, 2013), por lo que no se tiene en cuenta para la presente investigación.

- Muestreo aleatorio simple: basta con sustituir en las fórmulas anteriores el error e por el que el analista está dispuesto a aceptar, y resolver la ecuación tomando el tamaño muestral n como incógnita. Si se supone que la población es suficientemente grande en relación con la muestra se puede obviar el factor de corrección para poblaciones finitas, por lo que esta primera aproximación puede obtenerse mediante la siguiente expresión:

$$n \cong n-1 = \frac{z^2 pq}{e^2} \quad (4.3)$$

Es una opinión ampliamente difundida que el tamaño de la muestra debe ser proporcional al de la población (para más información véase Corbetta, 2007). Dado que el tamaño de esta última no interviene en la aproximación inicial, debe realizarse una segunda aproximación con la introducción del factor de corrección para poblaciones finitas, sólo cuando se requiere que el tamaño de la muestra no sea despreciable en relación con el tamaño de la población (es decir, cuando n sea superior al 5 % de N , o lo que es lo mismo, $f = n/N > 0.05$). Si se tiene en cuenta este factor la anterior expresión queda como sigue:

$$n \cong n - 1 = \frac{z^2 pq}{e^2} (1 - f) \quad (4.4)$$

Sustituyendo f por su valor (n/N) se obtienen expresiones bastante complejas. Para simplificar su utilización, este proceso suele separarse en 2 fases: primero se aplica la ecuación (4.3) que proporciona una primera medida n_0 . Si el valor de n_0 calculado es inferior al 5% de N , se emplea como tamaño de la muestra. Pero si este valor es superior al límite, es necesario introducir el factor de corrección y se puede pasar de n_0 al valor correcto de n mediante la expresión siguiente:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad (4.5)$$

Las anteriores expresiones solamente son válidas si las observaciones obtenidas son independientes entre encuestados, por lo que si se consideran datos PD a la hora de aplicar estas expresiones no puede simplemente aumentarse el número de situaciones de elección presentadas para disminuir el tamaño de muestra mínima. Puede verse una ecuación equivalente a las anteriores en Rose y Bliemer (2013, p. 1023) en la que se pone de manifiesto este hecho.

- Muestreo aleatorio estratificado: con esta tipología de muestreo se procede dividiendo la población en un número de grupos mutuamente excluyentes, cada uno de los cuales representa una proporción de la misma. Las características que pueden considerarse como criterio de selección de estos grupos pueden ser de varios tipos, como por ejemplo el nivel de ingresos, sexo, edad, etc. (Hensher et al., 2005, p. 190).

A la hora de calcular el tamaño mínimo de muestra con esta tipología de muestreo puede procederse de 2 formas. En primer lugar puede aplicarse el procedimiento anterior sobre el total de la población (N) y posteriormente repartir de forma proporcional el tamaño de n obtenido entre todos los estratos. En segundo lugar puede procederse calculando el tamaño mínimo de muestra sobre cada uno de los estratos, sumando el valor obtenido para obtener el total. Con el primer procedimiento se obtiene un tamaño de muestra muy inferior que el obtenido con el segundo, lo que se debe a que mientras que en

el primer procedimiento el nivel de confianza se aplica sobre el total de la población, en el segundo se aplica sobre cada uno de los estratos.

En el anexo A12 se muestra el procedimiento de cálculo del tamaño mínimo de muestra mediante estos procedimientos para el caso de A Coruña, cuya población del Campus de Elviña era, en 2012-2013, $N=9\ 234$. Mediante el muestreo aleatorio simple se obtuvo un tamaño de muestra $n=384.16$, que es el mismo valor que se obtendría mediante el primer procedimiento de muestreo aleatorio estratificado (teniendo en cuenta las facultades o escuelas universitarias como criterio de estratificación). Por su parte, mediante el segundo procedimiento de muestreo aleatorio estratificado se obtiene un valor de $n=1\ 786.79$.

4.4.4. Recolección de datos en la práctica

Debido a las características de la población elegida no resultó viable realizar un muestreo probabilístico, por lo que deben emplearse procedimientos diferentes a los anteriormente descritos. Es por esto que se recurre a una serie de reglas empíricas que se han obtenido a partir de diferentes estudios o simulaciones.

Tal y como destacan Rose y Bliemer (2013), Bryan Orme propone una serie de reglas de este tipo relacionadas con el tamaño mínimo de muestra para estudios basados en datos de elección PD. Este sugiere un tamaño de muestra de 200 individuos en estudios en los que se realiza un análisis entre diferentes segmentos de la muestra y 300 individuos en caso de que este análisis no se realice. Estas cifras no guardan relación alguna con la teoría estadística ni con las dimensiones del experimento, por lo que el propio Orme propone también la siguiente fórmula empírica para muestras PD basadas en la elección para la estimación de los efectos principales de los atributos sobre la elección:

$$n \geq 500 \cdot \frac{L^{\max}}{M \cdot S} \quad (4.6)$$

siendo:

L^{\max} el mayor número de niveles para cualquier atributo

M el número de alternativas disponibles

S el número de situaciones de elección presentadas a cada encuestado

En la anterior publicación de Rose y Bliemer también se recoge la siguiente cita que expresa una de estas reglas empíricas realizada por Daniel McFadden: “*As rule of thumb, sample sizes which yields less than thirty responses per alternative produce estimators which cannot be analyzed reliably by asymptotic methods*” (Rose & Bliemer, 2013, p. 1024).

Por último, la experiencia previa analizada en Hensher et al. (2005, pp. 193-195) indica que el criterio más empleado para establecer el mínimo tamaño de muestra es el conseguir el número de observaciones necesarias para estimar modelos con cierta robustez. Dado que algunas alternativas son menos “populares” que otras, el tamaño mínimo de la muestra que se recomienda es de 50 encuestados para estas alternativas (siendo proporcional para el resto si se dispone de los datos necesarios para su cálculo). Con alternativas no etiquetadas, el tamaño mínimo puede ser algo inferior. La verdad es que no existe un número “mágico”, pero se sospecha que con 50 observaciones para entre 8 y 16 situaciones de elección (número habitual en modelización de transporte y estudios de mercado), se obtienen modelos con robustez aceptable si no se disponen de datos de reparto modal a priori.

En el caso de esta tesis el muestreo ha estado condicionado por la posibilidad de obtener colaboraciones por parte de los agentes involucrados en las universidades de las ciudades seleccionadas. Si bien algunos aspectos como el trabajo de campo del proceso de obtención de datos, así como las muestras finalmente obtenidas, serán tratados en posteriores apartados, puede adelantarse que en ningún caso se han conseguido menos de 50 encuestados por experimento, cumpliéndose por tanto esta regla de buena práctica. Si se tiene en cuenta la expresión (4.6), se obtienen los siguientes tamaños mínimos de muestra por experimento:

- Encuesta final (9 situaciones de elección por encuestado):

$$n \geq 500 \cdot \frac{3}{3 \cdot 9} = 55.56$$

- Encuesta complementaria (6 situaciones de elección por encuestado):

$$n \geq 500 \cdot \frac{3}{3 \cdot 6} = 83.33$$

Tal y como puede verse en la tabla 4.15. este número se supera ampliamente en las encuestas realizadas en todas las localizaciones. Si bien es cierto que tras el tratamiento de datos se obtienen 55 encuestas válidas para el caso de Valencienes en el experimento 2, esto no supone un problema grave ya que el tamaño mínimo de

muestra en este caso sería de 56 (solamente faltaría 1 encuesta). Además, no resulta posible controlar el número de encuestas válidas durante el proceso de toma de datos, por lo que no es habitual ni práctico el obtener esta encuesta adicional a posteriori.

4.4.5. Trabajo de campo

Todas las gestiones necesarias para la realización de las encuestas, desde los estudios de idoneidad y los contactos previos con profesores, hasta el retorno de las propias encuestas, se han realizado de forma simultánea en las diferentes ubicaciones (A Coruña, Vitoria-Gasteiz, Nantes, Lille, Valenciennes y Clermont-Ferrand). A continuación se describen las diferentes tareas realizadas como parte del trabajo de campo en cada una de las localizaciones.

4.4.5.1. A Coruña

Esta ha sido la ciudad por la que han comenzado estas tareas debido a que en ella se desarrolla la encuesta piloto como paso previo, e imprescindible, para la generación de la encuesta final a partir de un diseño experimental eficiente. Además, se concibe la realización de 2 fases de encuesta con diseños experimentales eficientes, denominadas final y complementaria (véase capítulo 3), por lo que entre ellas debe disponerse del tiempo suficiente para realizar tareas relacionadas con el tratamiento de datos, diseño experimental y generación de las nuevas encuestas.

- Encuesta piloto: tras la obtención del diseño experimental ortogonal se lleva a cabo la encuesta piloto, obteniéndose 113 encuestas en 2 clases de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos del Campus de Elviña. Con estos datos se desarrolla la posterior modelización que permite estimar los valores previos de los parámetros necesarios para realizar el diseño experimental eficiente, que sirve como base para la encuesta final.
- Encuesta final: se realizaron contactos directos con profesores de diferentes centros del campus. Los resultados obtenidos en la encuesta final de esta localización pueden verse en la siguiente tabla:

CENTRO	Profesores	Clases	Encuestas	Cursos
ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos	6	8	232	1º/2º/3º/4º
Facultad de Sociología y Ciencias de la Comunicación	3	6	98	1º/2º/3º
Facultad de Economía y Empresa	2	6	121	3º
Facultad de Informática	1	2	40	2º
TOTAL	12	22	491	

Tabla 4.10. Número de encuestas obtenidas mediante la encuesta final: Campus de Elviña (A Coruña)

- Encuesta complementaria: tras realizar las tareas correspondientes con los datos anteriormente obtenidos (tratamiento, modelización y generación de nuevo diseño eficiente), se llega a una nueva encuesta en la que se presentan 6 situaciones de elección por encuestado. En esta fase se da prioridad a completar la muestra con estudiantes de las facultades o escuelas de las que no se dispone de datos en la fase previa. Del mismo modo también se busca la colaboración de nuevos profesores (solamente 2 profesores de la fase anterior repitieron en estas encuestas), abarcando de este modo todas las escuelas y facultades así como casi todas las titulaciones presentes en el campus entre las 2 oleadas de encuestas.

CENTRO	Profesores	Clases	Encuestas	Cursos
Facultad de Ciencias de la Educación	2	4	162	1º/2º
Facultad de Economía y Empresa	5	9	198	1º/2º/3º/4º
Facultad de Derecho	3	4	190	1º/2º/3º
TOTAL	10	17	550	

Tabla 4.11. Número de encuestas obtenidas mediante la encuesta complementaria: Campus de Elviña (A Coruña)

4.4.5.2. Ciudades francesas

Esta es la campaña de encuestas que presenta a priori mayores inconvenientes a la hora de recopilar datos, tales como el idioma, la falta de contactos de forma previa, las dificultades en la comunicación con algunas secciones de relaciones internacionales de las universidades (que en algún caso llegaron a pedir una serie de permisos formales por parte de diferentes organismos), sumándose a la dificultad inherente que supone la cesión de horas de clase por parte de los profesores (siendo además una colaboración con una investigación de otro país).

Primera fase: Contactos previos

En primer lugar se realizan contactos previos con los servicios de relaciones internacionales o con coordinadores del programa erasmus de diferentes universidades ubicadas en las ciudades francesas de tamaño intermedio. En esta fase se presenta la investigación en líneas generales, pidiendo colaboración para realizar una encuesta de movilidad. En este contacto se plantean diversas fórmulas para el envío de las encuestas (formato electrónico o papel) y su posterior retorno a España (correo electrónico o correo postal mediante mensajería).

Las universidades contactadas en esta fase pertenecían a las ciudades de Burdeos, Clermont-Ferrand, Grenoble, Lille, Lyon, Montpellier, Nantes, Niza, Rennes, Rouen, Toulouse y Valenciennes.

Segunda Fase: Contactos en ciudades seleccionadas

El comienzo de esta segunda fase se da semanas después de comenzar la primera, siendo simultáneos la mayor parte de los trabajos realizados en ambas al tratarse de procesos en los que se realizan contactos de forma continua.

En esta fase se centran los esfuerzos en contactar con profesores de distintas titulaciones de universidades ubicadas en Nantes, Lille, Valenciennes y Clermont-Ferrand. Esto es debido a la buena disposición a colaborar por parte de los servicios de relaciones internacionales contactados en la fase anterior, cumpliéndose además todos los criterios de selección descritos en el apartado 4.3.2. Se realizan contactos con al menos un profesor o profesora de 17, 14, 7 y 9 facultades o centros de estudios de estas ciudades, respectivamente. Finalmente se consigue la colaboración de 13 profesores/as en 7 centros de estudios, con lo que se obtienen un total de 790 encuestas retornadas.

Institution	Surveys	City	Total
Polytech Nantes (Ecole d'ingénieur)	76	Nantes	146
Faculté de médecine et techniques médicales: Médecine	70		
UFR de Géographie et Aménagement	131	Lille	334
UFR de Biologie	203		
Ecole Nat. Sup. D'Ing. en Informatique-Automatique, Mécanique-Energétique et Electronique (ENSIAME)	82	Valenciennes	147
Institut d'Administration des Entreprises (IAE)	65		
Polytech Clermont-Ferrand	163	Clermont-Ferrand	163

Tabla 4.12. Número de encuestas obtenidas mediante la encuesta final: ciudades francesas

4.4.5.3. Vitoria-Gasteiz

Tras la experiencia inicial adquirida en las primeras fases del proceso seguido en Francia, para la ciudad de Vitoria-Gasteiz se opta por una estrategia más práctica, contactando directamente con los propios profesores y evitando así a los posibles intermediarios.

En primer lugar se consultaron los datos relacionados con los diferentes centros de la universidad del País Vasco ubicados en Vitoria-Gasteiz, contactando posteriormente con 112 profesores relacionados con distintas asignaturas y cursos de 17 titulaciones en 10 centros, y solicitando su colaboración para realizar la encuesta de movilidad. Se hace un “barrido” por todos los centros universitarios, con el objetivo de conseguir el mayor número de encuestas posible cubiertas por estudiantes con diferente grado de conocimiento del sistema de transporte de la ciudad.

Finalmente 4 profesores acceden a colaborar recibiendo, realizando y retornando las encuestas (en el caso del Grado en Trabajo Social el contacto se ofrece a pasar la petición a varios compañeros/as, por lo que se obtiene un número mayor de encuestas que en otras titulaciones) en 3 centros diferentes. El número de encuestas obtenido para ambos experimentos es de 282, tal y como puede verse en la siguiente tabla.

Titulación	Centro	Encuestas		
		Exp1	Exp2	Total
Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática	Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz	25	25	50
Grado en Ingeniería Informática de Gestión y Sistemas de Información	Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz	22	17	39
Grado en Administración y Dirección de Empresas	Escuela Universitaria de Estudios Empresariales de Vitoria-Gasteiz	18	20	38
Grado en Trabajo Social	Escuela Universitaria de Trabajo Social	81	74	155
Total		146	136	282

Tabla 4.13. Número de encuestas obtenidas mediante la encuesta final: Vitoria-Gasteiz

4.5. Muestras obtenidas

4.5.1. Tratamiento de datos

Una vez se completa el proceso de recogida y retorno de las encuestas en cada una de las localizaciones, se realizan las operaciones necesarias para que la información pase a formar parte de una base de datos con la que realizar la posterior estimación de modelos.

En primer lugar se codifica la información contenida en la sección de datos PR con especial cuidado en el modo de transporte elegido para el viaje actual. Las categorías de este atributo se clasifican a su vez en 4 grupos según su tipología: transporte no motorizado (a pie y bicicleta), transporte privado (coche y motocicleta), transporte público sobre neumáticos (autobús y taxi) y transporte público ferroviario (tranvía/metro ligero y ferrocarril). En el caso de Lille, se crea una categoría exclusiva para el VAL. También se presta especial interés en la variable “frecuencia de uso de la red de transporte público en los últimos 3 años”, puesto que se emplea en las modelizaciones como parte del análisis del fenómeno estudiado (a partir de ahora se denominará como “experiencia previa con la red de transporte público PR”).

En cuanto a la sección de datos PD se detectan una serie de problemas o incidencias en algunas de las encuestas completas, o solamente en algunas situaciones de elección. Estas problemáticas pueden dividirse en 4 tipos:

- Datos faltantes: los encuestados dejan sin cubrir algunas situaciones de elección. Ya sea por olvidarse de alguna situación, o de un escenario completo en la encuesta (por ejemplo cubrir el escenario A y no el escenario B), es obvio que no pueden emplearse las situaciones de elección de las que no se dispone de respuesta.
- Elecciones incoherentes: se dan cuando un encuestado elige un modo de transporte público en el escenario A y el otro modo de transporte público en el escenario B. Estas situaciones no aportan información útil a los modelos, ya que no es coherente elegir los 2 modos de transporte público en escenarios alternos en la misma situación de elección, sin que varíen los valores de los atributos. Por este motivo se desechan estas situaciones de elección.
- Eligen la misma alternativa para todas las situaciones de elección en un escenario concreto: el ejemplo más claro de este tipo de problema se da en el

escenario B, cuando un encuestado elige siempre la alternativa coche independientemente de los valores de los atributos. Si bien esta es una elección que no sigue normas compensatorias, puede ser que siga el patrón de comportamiento de un individuo dado, por lo que se han localizado y contabilizado estos casos tal y como puede verse en las tablas del anexo A13.

- Mezclan las respuestas en los 2 escenarios: es decir, indican un modo de transporte por situación de elección, pero no siempre en el mismo escenario. En general son un pequeño porcentaje y suele suceder que eligen un transporte público en el escenario A y el privado en el B.

Se opta por desechar solamente los datos de los 2 primeros tipos (faltantes e incoherentes). Como ya se ha mencionado es posible que el elegir siempre la misma alternativa responda a un patrón de hábito que refleja el comportamiento hipotético del encuestado en ese caso (por ejemplo, si elige siempre coche, puede ser porque en muchos casos cuando se hace el gran esfuerzo inicial de adquirir un vehículo suele emplearse este siempre que sea necesario realizar un desplazamiento). En el caso de las datos tipo “mezcla”, se considera que son el resultado de una mala interpretación de la mecánica del ejercicio de elección por parte de los encuestados, por lo que se soluciona pasando todas las respuestas al escenario B, puesto que lo más probable es que los encuestados entendiesen que siempre tenían las 3 alternativas como disponibles (de hecho el doctorando tuvo la oportunidad de localizar a los individuos con respuestas de este tipo tras realizar el cuestionario en la encuesta complementaria, corroborando que esa era la causa de las respuestas de este tipo). Así pues, estos datos pueden considerarse aprovechables sin alterar las estimaciones realizadas en la modelización. De este modo los datos PD que no son aprovechables son aproximadamente un 20% de todas las situaciones de elección recogidas.

En la siguiente tabla se muestra el porcentaje aprovechable de los datos recogidos si no se tienen en cuenta datos faltantes o incompletos (primera columna); datos faltantes o incompletos más escenarios en los que siempre se elige la misma alternativa (segunda columna); y datos faltantes o incompletos, escenarios en los que siempre se elige la misma alternativa más situaciones de elección en las que se mezclan escenarios en las respuestas para los 2 experimentos (tercera columna). Pueden verse los datos por experimento en el anexo A13.

	Faltantes/ Incoherentes	Elección reiterada	Mezcla escenarios
A Coruña (1)	82.0%	63.2%	58.0%
A Coruña (2)	79.9%	61.0%	55.4%
Vitoria-Gasteiz	69.3%	55.9%	51.3%
Nantes	91.9%	87.6%	87.6%
Lille	88.3%	80.3%	78.8%
Valenciennes	78.9%	63.5%	62.5%
Clermont-Ferrand	84.9%	72.8%	71.0%
Media	82.2%	69.2%	66.4%

Tabla 4.14. Porcentaje de situaciones de elección aprovechables en función de las problemáticas analizadas

(1) Encuesta final / (2) Encuesta complementaria

Finalmente se obtienen casi 2 000 encuestas válidas para la modelización, mientras que el número de situaciones de elección PD consideradas asciende a más de 28 000, tal y como puede verse en la siguiente tabla.

LOCALIDAD	Nº total de encuestas realizadas			Nº de encuestas válidas (observaciones PR)			Nº de situaciones de elección válidas (PD)		
	Exp. 1	Exp. 2	Total	Exp. 1	Exp. 2	Total	Exp. 1	Exp. 2	Total
A Coruña (1)	243	248	491	227	233	460	3 545	3 699	7 244
A Coruña (2)*	275	274	549	253	254	507	2 553	2 708	5 261
Vitoria-Gasteiz	146	136	282	115	114	229	1 767	1 750	3 517
Nantes	81	65	146	79	60	139	1 363	1 052	2 415
Lille	167	167	334	156	159	315	2 618	2 693	5 311
Valenciennes	79	68	147	68	55	123	1 155	933	2 088
Clermont-Ferrand	93	70	163	86	64	150	1 418	1 074	2 492
TOTAL	339	305	2 112	310	278	1 923	5 191	4 700	28 328

Tabla 4.15. Número de observaciones que forman las diferentes bases de datos

* En la encuesta complementaria (2) se obtienen 6 situaciones de elección por cada encuesta, frente a las 9 situaciones por cada encuesta final (1)

4.5.2. Características socioeconómicas de los encuestados

En este apartado se analizan las principales características socioeconómicas de los encuestados. Las variables consideradas son la edad, el sexo y el nivel de gasto mensual excluida vivienda y alimentación.

4.5.2.1. Edad

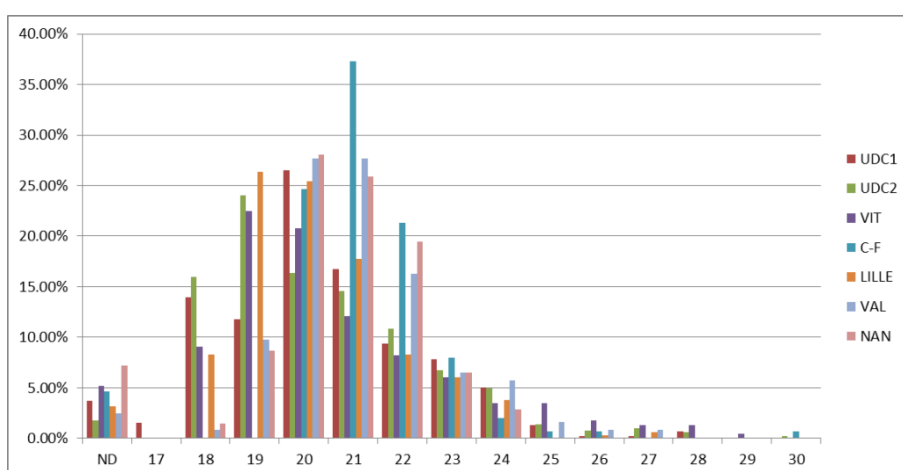
Puesto que se selecciona a los estudiantes universitarios como la población objeto de estudio era de esperar que esta variable presentase unos valores bastante homogéneos. La edad media de los encuestados es de 20.85 años, tal y como se observa en la tabla siguiente.

Muestra	Media
A Coruña (1)	20.75
A Coruña (2)	20.63
Vitoria-Gasteiz	21.79
Clermont-Ferrand	21.32
Lille	20.32
Valenciennes	21.13
Nantes	20.91
TOTAL	20.85

Tabla 4.16. Edad media de los encuestados

(1) Encuesta final / (2) Encuesta complementaria

También puede comprobarse la homogeneidad de esta variable en las siguientes figuras, donde se representan las edades comprendidas entre los 17 y los 30 años. En casi todos los casos el 85% de los encuestados se encuentran en el grupo de edad inferior a 22 años (a excepción de Vitoria-Gasteiz, en cuyo caso el porcentaje acumulado correspondiente a los 22 años es ligeramente inferior al 80%).



(a)

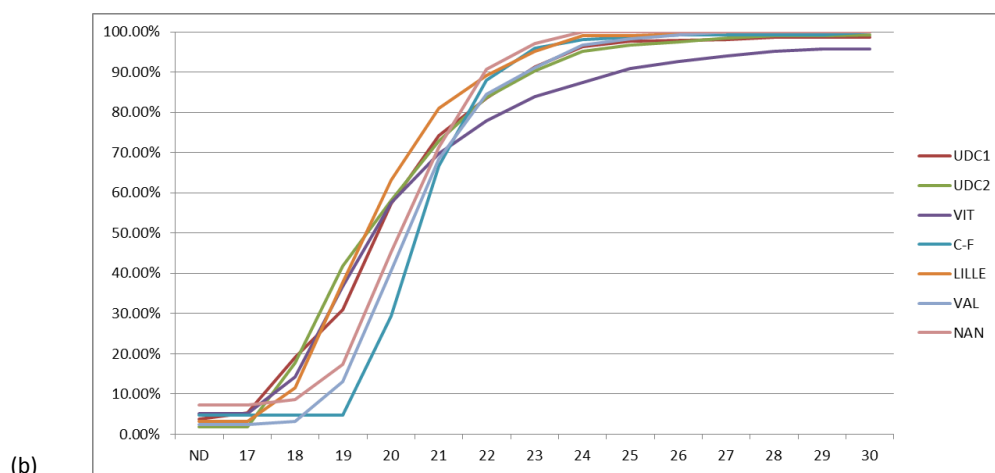


Fig. 4.11. Porcentaje absoluto (a) y acumulado (b) de encuestados según su edad

UDC1/UDC2 datos de la encuesta final/complementaria en la Universidade da Coruña

4.5.2.2. Sexo

De forma general el número de mujeres que cubren el cuestionario es superior al de hombres (994 mujeres frente a 884 hombres, con 45 encuestas en las que no se dispone de este dato). Esta tendencia solamente se invierte en las ciudades de Valenciennes y Clermont-Ferrand (especialmente en esta última).

Muestra	Hombres	Mujeres	ND
A Coruña (1)	54.8%	41.5%	3.7%
A Coruña (2)	27.8%	70.6%	1.6%
Vitoria-Gasteiz	42.4%	52.8%	4.8%
Clermont-Ferrand	72.7%	26.7%	0.7%
Lille	43.8%	54.6%	1.6%
Valenciennes	66.7%	30.9%	2.4%
Nantes	46.8%	53.2%	0.0%
TOTAL	46.0%	51.7%	2.3%

Tabla 4.17. Porcentaje de encuestados según su sexo

(1) Encuesta final / (2) Encuesta complementaria

4.5.2.3. Gastos mensuales

En la sección de datos PR también se define una variable que mide el gasto mensual de los encuestados (excluidos los gastos generados por su residencia durante el curso y su alimentación). Con este valor se pretende obtener un indicador de la capacidad adquisitiva de los mismos. Se divide esta variable en 6 intervalos con el fin de

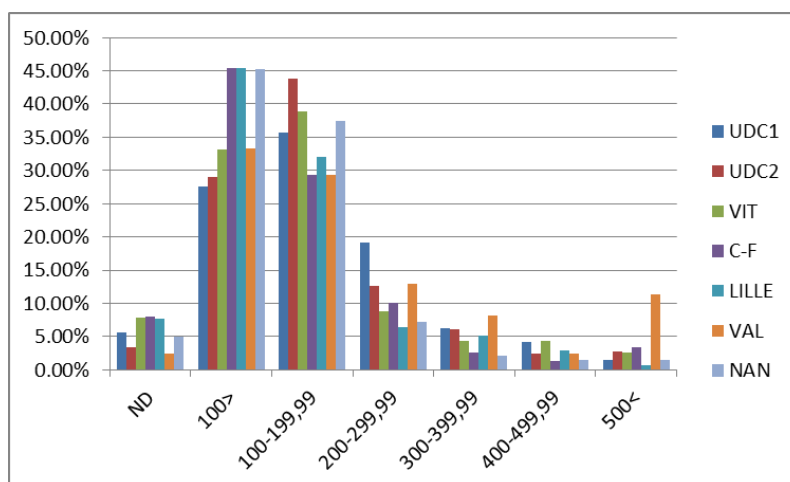
conseguir una mayor aceptación a esta pregunta por parte de los encuestados, ya que en el grupo focal y en las pruebas previas los propios encuestados sugirieron que esta clasificación es menos “agresiva” que preguntar un valor exacto de ingresos o gastos.

De forma general un 70% de los encuestados se ubican en el tramo de gasto de 0 a 199.99 €/mes, mientras que este porcentaje sube al 80% si se amplía el límite superior hasta los 299.99 €/mes.

Nivel de gasto (€/mes)	Nº encuestados	% encuestados
ND	107	5.56%
100>	665	34.58%
100-199.99	708	36.82%
200-299.99	233	12.12%
300-399.99	103	5.36%
400-499.99	57	2.96%
500<	50	2.60%
TOTAL	1923	100.00%

Tabla 4.18. Porcentaje total de encuestados según su nivel de gasto neto mensual

En la figura siguiente puede observarse que la tendencia seguida por las ciudades francesas es distinta a la de las ciudades españolas, siendo en las primeras el número de encuestados con gastos mensuales inferiores a los 100 €/mes ligeramente superior. Mención aparte merece el caso de Valenciennes, en la que la tendencia es diferente a la del resto de ciudades, situándose más de un 15% de los encuestados por encima de los 300 € de gasto mensual neto.



(a)

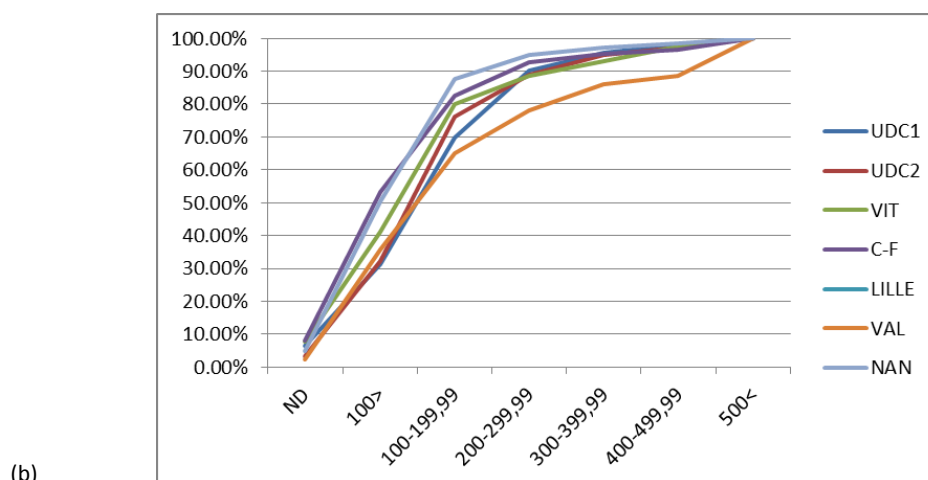


Fig. 4.12. Porcentaje absoluto (a) y acumulado (b) de encuestados según su nivel de gasto neto

UDC1/UDC2 datos de la encuesta final/complementaria en la Universidade da Coruña

Todos los aspectos relacionados con este apartado de características socioeconómicas se presentan en el anexo A14.

4.5.3. Experiencia previa con la red de transporte público PR

Se emplea la última pregunta de la sección PR para valorar cómo afecta a la elección de modo la experiencia que los encuestados tienen en la red de transporte público existente. En la misma se pide a los encuestados que indiquen 1 de las 3 categorías asociadas a la frecuencia de uso de la red de transporte público en los 3 años anteriores a la fecha de realización del cuestionario: ninguna, ocasionalmente y habitualmente. Esta variable se refiere a un valor de la percepción de los encuestados sobre su experiencia más que a un dato objetivo, aunque esta percepción puede ser muy interesante ya que influye en los hábitos de desplazamiento de los encuestados.

Ciudad	n	Número de encuestados				Porcentaje de encuestados			
		NIN	OCA	HAB	ND	NIN	OCA	HAB	ND
A Coruña (1)	460	19	144	288	9	4.1%	31.3%	62.6%	2.0%
A Coruña (2)	506	25	179	300	2	4.9%	35.4%	59.3%	0.4%
Vitoria-Gasteiz	229	50	109	57	13	21.8%	47.6%	24.9%	5.7%
Clermont-Ferrand	150	7	82	53	8	4.7%	54.7%	35.3%	5.3%
Lille	316	6	49	253	8	1.9%	15.5%	80.1%	2.5%
Valenciennes	123	12	50	56	5	9.8%	40.7%	45.5%	4.1%
Nantes	139	0	47	91	1	0.0%	33.8%	65.5%	0.7%

Tabla 4.19. Número y porcentaje de encuestados según su experiencia previa con la red de transporte público
(1) Encuesta final / (2) Encuesta complementaria

En la tabla anterior las siglas NIN, OCA, HAB y ND se refieren a las categorías “ninguna”, “ocasionalmente”, “habitualmente” y “no disponible”, respectivamente. El valor elevado del porcentaje de la categoría “ninguna” en Vitoria-Gasteiz se debe a que en muchos casos los estudiantes proceden de la ciudad de Bilbao, y llegan a la universidad directamente en un autobús interurbano directo de la empresa La Unión. También destaca que, excepto en el caso de Clermont-Ferrand, predomina la categoría “habitualmente” frente a “ocasionalmente”, siendo especialmente marcado este efecto en la ciudad de Lille.

En la siguiente figura se muestran los porcentajes agregados de encuestados pertenecientes a cada categoría en las ciudades francesas.

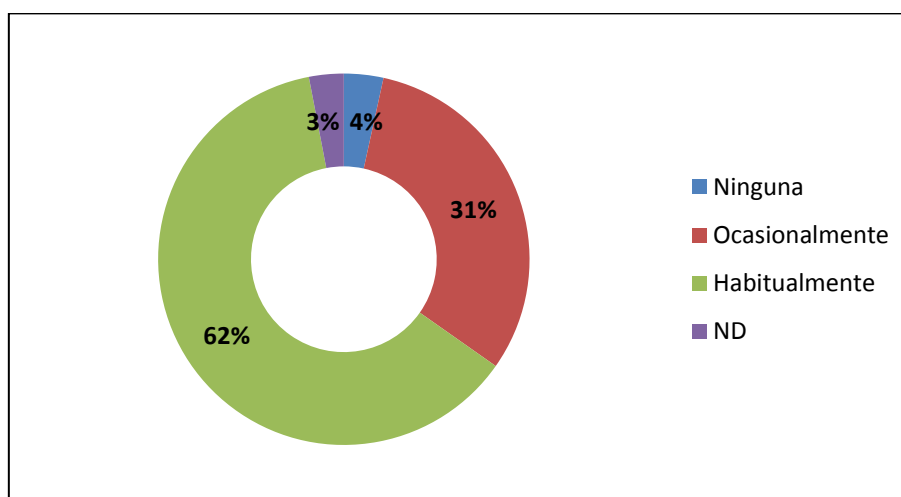


Fig. 4.13. Porcentaje de encuestados según su experiencia previa con la red de transporte público existente en ciudades francesas estudiadas

4.5.4. Elección de modo para viaje actual PR

Tal y como se indicó previamente, también se clasifica a los encuestados en función de su elección de modo PR, distinguiéndose 4 grupos según su tipología: transporte no motorizado (a pie y bicicleta), transporte privado (coche y motocicleta), transporte público sobre neumáticos (autobús y taxi) y transporte público ferroviario (tranvía/metro ligero y ferrocarril). Además, y debido al elevado porcentaje de usuarios que obtuvo en las encuestas, se considera crear una categoría extra para el VAL de la ciudad de Lille. También cabe señalar que el tranvía sobre neumáticos de la ciudad de Clermont-Ferrand (Translohr), siendo un transporte de tipo intermedio entre el autobús y el metro ligero, se incorporó a la categoría ferroviaria puesto que en Francia se le da

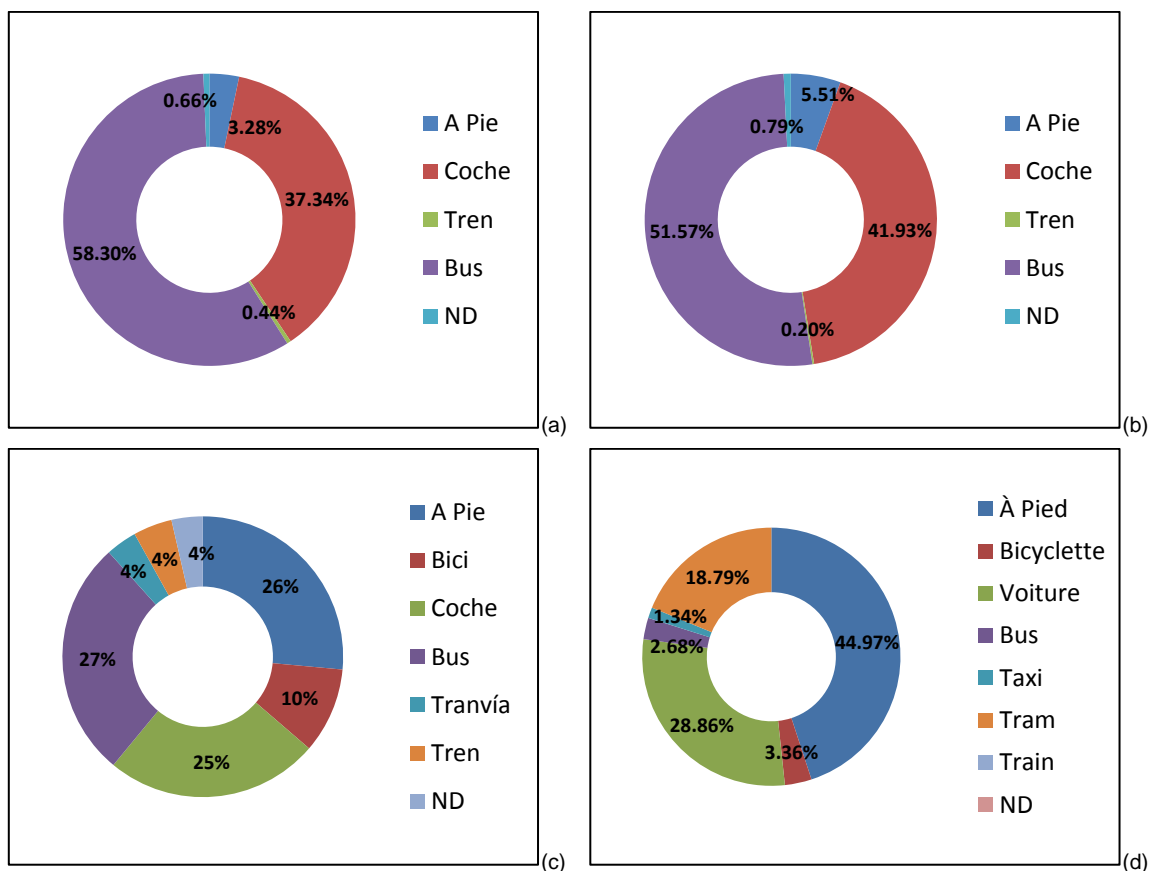
esta clasificación, además de disponer de una infraestructura ferroviaria para su desarrollo (tracción eléctrica mediante pértigas y carril central como sistema de guiado permanente).

Ciudad	n	No motorizado	Privado	Público rodado	Público ferroviario	VAL	ND
A Coruña (1)	460	15	171	267	2	0	3
A Coruña (2)	506	28	213	262	1	0	4
Vitoria-Gasteiz	229	81	55	61	18	0	8
Clermont-Ferrand	150	72	43	6	28	0	0
Lille	316	37	68	32	84	101	1
Valenciennes	123	29	50	1	42	0	1
Nantes	139	43	30	44	21	0	0

Tabla 4.20. Número y porcentaje de encuestados según la elección de modo para el desplazamiento PR

(1) Encuesta final / (2) Encuesta complementaria

Por último se muestran los distintos porcentajes de encuestados en función de su elección de modo para el viaje PR en las distintas localizaciones estudiadas.



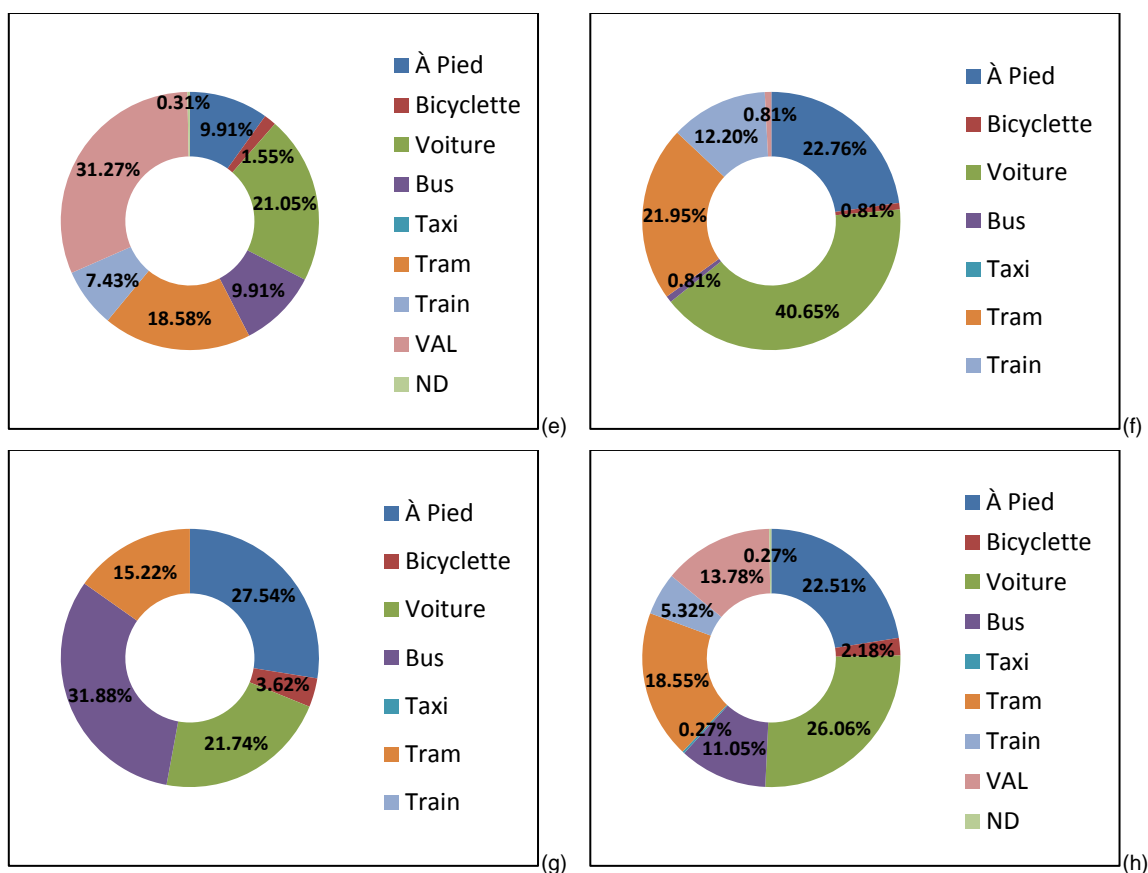


Fig. 4.14. Porcentajes del reparto modal PR en A Coruña (a, final) y (b, complementaria), Vitoria-Gasteiz (c), Clermont-Ferrand (d), Lille (e), Valenciennes (f), Nantes (g) y agregado de las ciudades francesas (h)

4.6. Conclusiones

Algunas de las principales conclusiones que pueden extraerse del contenido de este capítulo son las siguientes:

- La elección de los estudiantes universitarios como población objeto de estudio parece a priori una buena elección, puesto que presentando una homogeneidad suficiente para acotar claramente el estudio, incluye usuarios de diferentes tipos (recién llegados y usuarios habituales), que están en un momento de su vida muy apropiado para realizar juicios de valor relacionados con sus hábitos de desplazamiento.
- Las ciudades francesas elegidas parecen suficientemente representativas de distintos tipos de redes de transporte con sistemas de capacidad intermedia. Además, el hecho de que el país galo sea una referencia en otros estudios de este tipo respalda esta decisión.
- El título de *European Green Capital* de 2 de las ciudades objeto de estudio en años consecutivos (Vitoria-Gasteiz y Nantes en 2012 y 2013, respectivamente)

también respalda la idea de realizar un análisis comparativo a posteriori de estas 2 ciudades.

- Debido a la población elegida no fue posible realizar un muestreo aleatorio, por lo que se opta por un muestreo no probabilístico en el que se realizan una serie de consideraciones con el objetivo de evitar los sesgos en la medida de lo posible, considerando los recursos destinados en la investigación y los objetivos perseguidos. Con el mismo se consiguen diferentes muestras que cumplen con las distintas reglas empíricas referentes al tamaño mínimo de muestra.
- Las principales características socioeconómicas presentan una homogeneidad suficiente como para respaldar la idea de que la muestra se adecua a la población y fenómeno estudiado, al cumplir con las premisas realizadas de forma previa al desarrollo de las encuestas.
- Por último, puede observarse que en lo referente a la experiencia previa con la red de transporte público la amplia mayoría de encuestados declaran ser usuarios habituales o al menos ocasionales de la misma. El hecho de que apenas ninguno de ellos declarase que no tiene ninguna experiencia con la red (a excepción del caso de Vitoria-Gasteiz), implica que este nivel o categoría de la variable apenas aporta capacidad explicativa a la estimación de modelos posteriores. Por lo tanto se decide prescindir de la misma, definiendo así una variable dicotómica para representar si un encuestado se considera o no a sí mismo como usuario habitual de la red de transporte público de su ciudad, y cómo este hecho afecta a la elección de modo mediante el análisis de posteriores estimaciones.

CAPÍTULO 5

Estimación de modelos de reparto modal

5.1. Introducción

En este capítulo se aborda la estimación de modelos de reparto modal como parte importante del análisis relativo a la existencia de un *rail factor* en las distintas localizaciones consideradas. Se trata de una de las fases de mayor relevancia científica en la presente investigación, y en ella se estiman modelos de elección discreta basados tanto en los datos PD obtenidos en el ejercicio de elección como en algunas características pertenecientes a los encuestados (tales como la experiencia previa de cada individuo en la red de transporte público PR o el tipo de transporte empleado en el desplazamiento PR correspondiente).

Además de emplear diferentes tipologías de modelos de elección discreta (logit multinomial, logit anidado y logit mixto), se realiza un procedimiento sistemático en búsqueda de las especificaciones de la utilidad de las alternativas que maximizan la capacidad explicativa de los modelos sobre el fenómeno estudiado. Finalmente se seleccionan algunos modelos como los de referencia para todas las bases de datos empleadas, con el objetivo de realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos en las distintas ubicaciones. En el siguiente capítulo se emplean los resultados de los modelos seleccionados para simular poblaciones en las que los individuos se enfrentan a diferentes redes de transporte en lo que a las alternativas y variables influyentes en el reparto modal se refiere, para algunos casos concretos.

El capítulo 5 se organiza de la siguiente forma: en primer lugar se presentan las formulaciones teóricas correspondientes a los modelos de elección discreta empleados en las estimaciones del reparto modal. Posteriormente se muestran las diferentes especificaciones de la utilidad de las alternativas utilizadas, en función del tipo de modelo de elección discreta considerado en cada caso. En tercer lugar se muestran los principales resultados obtenidos en el procedimiento de estimación de modelos. A continuación se presentan una serie de casos de estudio particulares, relacionados con la etiqueta asociada a los modos de transporte público presentados

en la encuesta, con la existencia en la red de sistemas de transporte público que emplean plataforma independiente y con las diferencias existentes entre poblaciones que aun siendo similares se encuentran en diferentes países, y que por tanto tienen sus características sociales propias diferenciadas. Para finalizar, se realiza un resumen de las principales conclusiones obtenidas a partir de la estimación de los modelos obtenidos.

En este capítulo se tratan aspectos relacionados con las siguientes preguntas desagregadas de la investigación:

- ¿Existe el *rail factor*? ¿Qué peso tiene en la capacidad de captación de viajeros?
- ¿Cómo afecta el contexto del proyecto al *rail factor*?
- ¿Cuál es la influencia en el *rail factor* de atributos característicos del transporte público tales como el grado de plataforma reservada, la información suministrada a los usuarios y la fiabilidad en los horarios?
- ¿Cómo afecta el *rail factor* a la capacidad de captación de viajeros no cautivos?
- ¿El grado de conocimiento de los sistemas de transporte público presentes en la red tiene influencia en el valor del *rail factor*?

5.2. Modelos de elección discreta

5.2.1. Marco teórico

En primer lugar cabe destacar que en el capítulo tercero se ha presentado una breve introducción de los modelos de elección discreta (apartado 3.3.), por lo que no se analizan en profundidad los conceptos que ya han sido abordados.

El paradigma más comúnmente empleado a la hora de generar modelos de elección discreta (*Discrete Choice Models*, DCM) es el de la teoría de la maximización de la utilidad aleatoria (McFadden, 1975). Esta se fundamenta básicamente en las siguientes hipótesis (Ortúzar & Willumsen, 2011, pp. 230-231):

- Los individuos estudiados, que pertenecen a una población homogénea Q , muestran un comportamiento racional y disponen de toda la información relacionada con su elección.

- Existe un conjunto universal de alternativas disponibles denominado $A = \{A_1, \dots, A_j, \dots, A_N\}$ y un conjunto X de vectores de los atributos correspondientes a los individuos y a sus alternativas. A cada individuo q se le asocia un conjunto concreto de atributos $x \in X$ y se enfrenta a un conjunto de alternativas disponibles $A(q) \in A$.
- La utilidad neta U para el individuo q asociada a la alternativa j puede representarse mediante 2 componentes: una parte medible denominada utilidad representativa o sistemática (V) que es función de los atributos (x) con unos parámetros (β) a calibrar, y una componente aleatoria (ε), que engloba los gustos particulares de cada individuo, los errores cometidos en la medición u observación y en general todo lo que no está incluido en la parte sistemática.

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} = f(x_{jq} | \beta) + \varepsilon_{jq} \quad (5.1)$$

- El individuo escoge la alternativa con una utilidad mayor, es decir, que el individuo q elige A_j si y solo si:

$$U_{jq} \geq U_{iq}, \forall A_i \in A(q) \quad (5.2)$$

o lo que es lo mismo:

$$V_{jq} - V_{iq} \geq \varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq} \quad (5.3)$$

Puesto que se desconoce el valor de $(\varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq})$ no se puede comprobar con total certeza si se cumple la expresión (5.3), por lo que se debe calcular la probabilidad de que esta se cumpla. Sin embargo, aún no se conoce la distribución conjunta de los residuos ε , y no es posible hallar una expresión analítica para el modelo. Lo que sí puede suponerse es que los residuos son variables aleatorias (con media cero sin pérdida de generalidad) cuyo vector $\varepsilon_n = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_N)$ distribuye según una función de densidad conjunta que puede denominarse como $f(\varepsilon_n)$. Con todo lo anterior puede calcularse la probabilidad de que el individuo q escoja la alternativa j .

$$P_{jq} = \text{Prob} \left\{ \varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq} \leq V_{jq} - V_{iq}; \forall A_i \in A(q) \right\} \quad (5.4)$$

$$P_{jq} = \int_{\varepsilon} I(\varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq} \leq V_{jq} - V_{iq}; \forall A_i \in A(q)) f(\varepsilon_q) d\varepsilon_q$$

donde $I(\cdot)$ es una función que vale 1 si el término entre paréntesis es cierto (el individuo escoge la alternativa j) y cero en otro caso.

Dependiendo de la distribución supuesta para ε_{jq} se obtiene un valor cerrado de la integral o bien debe evaluarse numéricamente por simulación, obteniéndose así diferentes tipos de DCM. Las tipologías que han sido empleadas en la estimación en esta tesis serán analizadas en los próximos apartados.

Para el proceso de calibrado del modelo se estiman los valores de los coeficientes β de la expresión (5.1). El procedimiento más empleado consiste en tomar como estimadores aquellos valores que maximicen la verosimilitud de la muestra utilizada. Puede verse más información respecto a las propiedades de los estimadores de máxima verosimilitud en Ben-Akiva y Lerman (1985, pp. 20-22). La función de verosimilitud de una muestra determinada puede hallarse mediante la siguiente expresión:

$$\mathcal{L}(\beta) = \prod_{q=1}^Q \prod_j (P_{jq})^{y_{jq}} \quad (5.5)$$

siendo $y_{jq}=1$ si el individuo q elige la alternativa j y cero en otro caso. Suele trabajarse con el logaritmo neperiano de la verosimilitud para facilitar la maximización numérica, denominándose a la función obtenida como log-verosimilitud:

$$LL(\beta) = \sum_{q=1}^Q \sum_j y_{jq} \ln(P_{jq}) \quad (5.6)$$

El estimador obtenido es el valor de los parámetros β que maximiza la función de log-verosimilitud, labor para la cual existen diferentes procedimientos numéricos. Puede encontrarse una descripción pormenorizada de estos métodos empleados habitualmente en modelos de elección discreta en Train (2009, cap. 8, pp. 183-204).

Debe destacarse que la elección observada solamente informa acerca de cuál de las alternativas presenta una utilidad mayor. Por lo tanto no podrá determinarse la escala ni el nivel, ya que un cambio igual en magnitud para todas las alternativas no va a modificar el hecho de que una utilidad sea mayor que otra (Orro, 2005, p. 36). Por este motivo será necesario normalizar el modelo en escala y nivel en un proceso conocido

como identificación, y que dependerá del tipo de modelo elegido y la especificación de las utilidades, entre otros aspectos. En este proceso, que se describirá en el apartado 5.2.5., se pone de manifiesto que no es posible estimar todos los parámetros de los modelos ni tampoco todos los elementos de la matriz de covarianza general que caracteriza la distribución conjunta de los términos de error.

5.2.2. El modelo logit multinomial (MNL)

Se trata de la tipología más simple y más empleada en la práctica de los modelos de elección discreta (Ortúzar y Willumsen, 2011, p. 232). Se obtiene asumiendo que los residuos aleatorios en la expresión (5.4) distribuyen según una distribución Gumbel independiente e idéntica (IID). A esta distribución también se la denomina como Valor Extremo Tipo I (EV1).

La elección de esta distribución se fundamenta en considerar que los residuos de cada alternativa no son interesantes por sí mismos, siendo lo realmente interesante el máximo de las utilidades aleatorias (Orro, 2005, p. 39). Si una variable ε se distribuye según una distribución Gumbel con parámetros de localización η y parámetro de escala μ , su función de densidad es la siguiente:

$$f(\varepsilon) = \mu e^{-\mu(\varepsilon-\eta)} \exp\left[-e^{-\mu(\varepsilon-\eta)}\right] \quad (5.7)$$

En el modelo MNL se emplea la distribución Gumbel con parámetro de localización igual a cero. La diferencia entre 2 variables con esta distribución distribuye a su vez logística, siguiendo la siguiente función de distribución:

$$F(\varepsilon_{ijq}^*) = \frac{e^{\mu\varepsilon_{ijq}^*}}{1 + e^{\mu\varepsilon_{ijq}^*}} \quad (5.8)$$

donde $\varepsilon_{ijq}^* = \varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq}$.

Con esta hipótesis, la solución analítica para la probabilidad de que el individuo q escoja la alternativa j (ecuación 5.4) es la siguiente:

$$P_{jq} = \frac{e^{\mu V_{jq}}}{\sum_{A_i \in A(q)} e^{\mu V_{iq}}} \quad (5.9)$$

Tal y como se señaló en el capítulo tercero, una formulación bastante empleada por su simplicidad a la hora de expresar la utilidad representativa o sistemática de las alternativas es la conocida como lineal en los parámetros:

$$V_{jq} = \sum_{k=1}^K \beta_{kj} x_{jkq} \quad (5.10)$$

donde además suele suponerse que los parámetros β_{kj} son constantes para todos los individuos pero pueden variar entre las diferentes alternativas.

Cuando las funciones de utilidad presentan esta formulación lineal en los parámetros, el factor de escala μ está relacionado con la varianza σ^2 de los errores aleatorios ε según la expresión siguiente:

$$\sigma^2 = \frac{\pi^2}{6\mu^2} \quad (5.11)$$

Este factor de escala no es estimable de forma independiente de los parámetros β , lo que se conoce con el nombre de identificación teórica (Ortúzar & Willumsen, 2011, p. 232) y es importante a la hora de comparar resultados de modelos de distintos tipos o con parámetros de escala diferentes. Todos los modelos de elección discreta presentan problemas de identificación, lo que implica que los valores de ciertos parámetros o factores deben fijarse a priori. En el caso de modelos MNL la normalización habitual consiste en considerar el factor de escala igual a 1

Las principales limitaciones del modelo MNL son las siguientes (Orro, 2005, p. 42):

- El modelo supone los parámetros β constantes, por lo que no admite variaciones aleatorias en los gustos de los individuos. Se supone así que todos ellos tienen la misma respuesta ante una variación en las variables explicativas.
- El modelo MNL exhibe la propiedad de independencia de alternativas irrelevantes (IAI). Por la formulación de la probabilidad se obtiene que el

cociente de las probabilidades de elección de 2 alternativas no depende de las propiedades de las restantes alternativas:

$$\frac{P_{jq}}{P_{iq}} = \frac{e^{V_{jq}}}{e^{V_{iq}}} = e^{(V_{jq}-V_{iq})} \quad (5.12)$$

- No admite correlación entre las observaciones, lo que puede no ser lo más adecuado para su aplicación con datos de panel y en encuestas PD con varias respuestas por individuo, en los que pueden existir factores no observados correlacionados entre las respuestas.
- El modelo tampoco admite diferencias en la variabilidad de la utilidad para distintas alternativas o distintos individuos, es decir, que los errores tengan diferente varianza (p.ej. el hecho de que el tiempo de viaje en vehículo privado sea mucho más variable que el tiempo de viaje en metro puede conllevar que las diferencias entre U y V sean mayores para esa alternativa, también puede ocurrir con distinto grado de conocimiento de las alternativas).

5.2.3. El modelo logit anidado o jerárquico (NL)

5.2.3.1. Estructura del modelo: la correlación

Tal y como se comentó anteriormente una de las limitaciones más destacadas de los modelos MNL es que no permiten correlaciones de ningún tipo (entre alternativas, individuos u observaciones). Por lo tanto no es posible plasmar, por ejemplo, la relación o las características comunes que existen entre los modos de transporte público frente al coche (dada la propiedad de IAI). Este hecho se ve reflejado en la simplicidad que presenta la matriz de covarianza asociada a este tipo de DCM. Por ejemplo, en un modelo MNL con 3 alternativas (como es el caso del escenario B en el ejercicio de elección PD) la matriz de covarianza Ω viene dada por la siguiente expresión:

$$\Omega = \sigma^2 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5.13)$$

Los elementos de la diagonal de la matriz reflejan las varianzas de los errores de las alternativas, iguales en el MNL. Los elementos fuera de la diagonal reflejan la correlación entre los errores de diferentes alternativas. Existen modelos que están dotados de una matriz de covarianza general y que por tanto permiten salvar cada una de las restricciones del modelo MNL, tales como el modelo Probit (MNP) en el que se supone que los errores aleatorios siguen conjuntamente una distribución Normal, o el modelo logit mixto (ML), que se discutirá en el siguiente apartado. Sin embargo en algunas situaciones esta generalización completa puede no ser necesaria para la modelización del fenómeno objeto de estudio, siendo los recursos necesarios un lujo que no es asumible en todos los casos. El modelo logit anidado (*Nested Logit*, NL), también conocido como logit jerárquico (*Hierarchical Logit*, HL), es un claro ejemplo de modelo simple que ha tenido una amplia aplicación. Mediante esta tipología es posible agrupar las alternativas que el analista considera similares en nidos, de forma que se permite la correlación únicamente entre las alternativas que pertenecen a un mismo nido.

Por tanto la estructura de la matriz obtenida es diagonal por bloques, donde los elementos no diagonales correspondientes a las alternativas que pertenecen a un nido serán diferentes de cero. Además se mantiene la homoscedasticidad característica del MNL, por la que los elementos de la diagonal son iguales entre sí (Espino, 2003, p. 36). Por ejemplo, si se presenta una estructura de modelo NL con 3 alternativas como la siguiente,

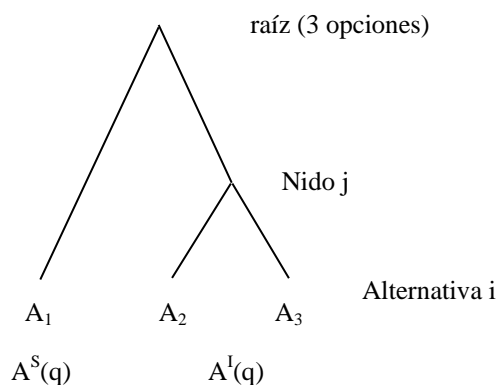


Fig. 5.1. Estructura de modelo logit jerárquico con 3 alternativas

la matriz de covarianza asociada tiene la siguiente expresión:

$$\Omega = \begin{pmatrix} \sigma^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^2 & \sigma_{23}^2 \\ 0 & \sigma_{32}^2 & \sigma^2 \end{pmatrix} \quad (5.14)$$

donde se aprecia la correlación existente entre las alternativas 2 y 3 por estar agrupadas en un mismo nido ($\sigma_{23} = \sigma_{32} \neq 0$).

5.2.3.2. Desarrollo histórico del NL

Tal y como puede verse en la revisión realizada por Ortúzar (2001), durante los primeros años de la década de los 70 numerosos autores trabajaron en su formulación desde diferentes enfoques, aunque todos los planteamientos presentaban inconsistencias con los conceptos microeconómicos básicos. Este hecho fue puesto de manifiesto por Williams (1977), quien además reformuló el modelo NL e introdujo las restricciones estructurales necesarias para su compatibilidad con la maximización de la utilidad.

Desde el nacimiento del modelo NL tal y como se conoce, convivieron 2 formulaciones obtenidas de forma diferente: en primer lugar la de Williams (1977) y Daly y Zachary (1978), los cuales trabajaron de forma independiente a Williams llegando a una formulación análoga; en segundo lugar, McFadden (1978) estableció una formulación del NL como caso particular de los modelos de valor extremo generalizado (GEV), generalizando así los trabajos de los anteriores autores. Puede verse una revisión de estas formulaciones en Carrasco y Ortúzar (2002).

5.2.3.3. Estimación del NL

La estimación de este tipo de modelo logit puede realizarse de 2 formas distintas.

La primera consiste en un proceso secuencial en el cual se estima primero un MNL para aquellas opciones que se han agrupado en un nido, omitiendo todas aquellas variables que tengan el mismo valor para este subconjunto de opciones, $A^I(q)$. Estas variables se introducen posteriormente en el nido superior, ya que afectan a la elección entre la jerarquía inferior y el resto de opciones en $A^S(q)$, pero se omiten en un primer momento puesto que el modelo MNL trabaja en diferencias y no podrían estimarse los parámetros asociados a estas variables comunes.

Cada nido es a su vez representado por una alternativa compuesta (N_j), frente a las demás alternativas que están disponibles para la población. La introducción del nido inferior en la jerarquía superior se realiza mediante la alternativa compuesta, a la que se asocia una utilidad representativa del nido que tiene 2 componentes (Ortúzar, 2000, p. 109):

- Una que considera como variable el valor esperado de la utilidad máxima entre las alternativas del nido, y
- Otra que considera un vector de los atributos comunes a todos los miembros del nido.

Por lo tanto, una vez que se ha realizado todo el proceso de estimación para el nido inferior, se estima un MNL para la jerarquía superior donde se incluye la alternativa compuesta y el resto de alternativas contenidas en el nido superior.

Algunas de las limitaciones de esta estimación del NL de forma secuencial son los problemas debidos a la transmisión de errores y el distinto valor de los parámetros en distintos nidos.

Esto puede solucionarse con la segunda de las opciones para estimar modelos NL: la estimación simultánea (Ortúzar, 2000, pp. 114-116). Esta estimación es la habitualmente empleada en los principales softwares de estimación desde que Daly (1987) logró estimar por primera vez un modelo NL de esta forma, maximizando una función de verosimilitud única. Este segundo tipo de estimación presenta la necesidad de fijar uno de los parámetros de escala involucrados, ya sea el factor de escala del nivel superior o raíz μ o bien el factor de escala del nido j (λ_j), dando lugar a 2 posibles normalizaciones conocidas como superior e inferior respectivamente.

5.2.3.4. El modelo NL en la práctica

En la figura 5.1. se muestra una estructura en la que conviven 3 alternativas estando 2 de ellas dentro de un único nido. Esta es la estructura de modelo NL más simple posible, sin embargo pueden existir nidos tanto en serie como en paralelo en una estructura mucho más compleja, dando lugar a la estructura “en árbol” característica de este tipo de modelos.

Así pues, la introducción de la información procedente de los nidos inferiores en los nidos inmediatamente superiores se realiza por medio de las utilidades de las

alternativas compuestas correspondientes. Estas utilidades son iguales a la utilidad máxima esperada (*expected maximum utility*, EMU) de las alternativas pertenecientes al nido correspondiente, y se calcula mediante la siguiente expresión (Ortúzar & Willumsen, 2011, p. 240):

$$EMU_j = \log \sum_k \exp\left(\frac{V_k}{\phi_j}\right) \quad (5.15)$$

Por lo que la utilidad compuesta para el nido j es igual a:

$$V_j = \phi_j \cdot EMU_j \quad (5.16)$$

Siendo ϕ_j parámetros estructurales que deben ser estimados:

$$\phi_j = \frac{\mu}{\lambda_j} \quad (5.17)$$

De acuerdo con este modelo, la probabilidad de que un individuo q elija la alternativa $A_i \in A^I(q)$ del nido j es igual al producto de la probabilidad marginal de elegir la alternativa compuesta N_j (en el nido superior) por la probabilidad condicional de que opte por A_i , en la jerarquía inferior, dado que el individuo q escogió la alternativa compuesta. Además, debe cumplirse una condición estructural para conservar la consistencia interna del modelo. Asumiendo por simplicidad la hipótesis de que existe un único nido, esta condición es la siguiente:

$$0 < \phi \leq 1 \quad (5.18)$$

Pueden hacerse las siguientes reflexiones acerca de esta condición:

- Si $\phi < 0$ un aumento en la utilidad de la alternativa en el nido (que debería aumentar el valor de EMU), disminuiría la probabilidad de elegir ese nido.
- Si $\phi = 0$ tal incremento de la utilidad no afectaría a la probabilidad de que ese nido fuese elegido, mientras que EMU no afectaría a la elección entre alternativas de dentro y fuera del nido.
- Si $\phi > 1$, un aumento de la utilidad en una de las alternativas del nido aumentaría la probabilidad de elegir no solamente esa alternativa en concreto, sino que también aumentaría la probabilidad de elegir el resto de las

alternativas del propio nido (aunque la verdadera razón es que μ no puede ser mayor que λ , tal y como se muestra en Ortúzar y Willumsen, 2011, p. 238).

- Si $\Phi=1$ ($\mu = \lambda$) el modelo NL es equivalente a un modelo MNL, por lo que este último sería más conveniente para modelizar el fenómeno estudiado.

Cuando se tiene más de un nivel jerárquico, cada rama de la estructura debe cumplir esta condición. Por ejemplo, en el NL correspondiente a la siguiente estructura,

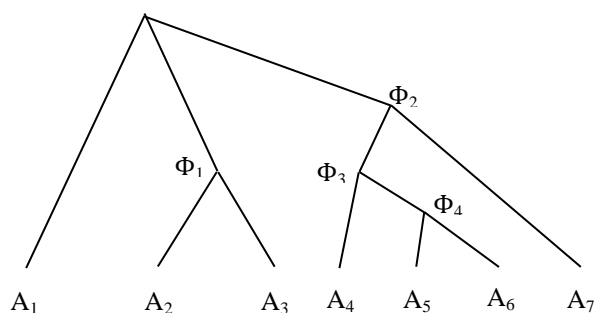


Fig. 5.2. Estructura de modelo logit jerárquico con varios nidos y niveles

deben cumplirse las siguientes condiciones estructurales:

$$\begin{aligned} 0 < \phi_1 &\leq 1 \\ 0 \leq \phi_4 &\leq \phi_3 \leq \phi_2 \leq 1 \end{aligned} \tag{5.19}$$

5.2.3.5. Normalizaciones superior e inferior

Aunque en este apartado se tratará este problema de identificación en esta tipología de modelos de forma clara y concreta, se remite al lector a Ortúzar y Willumsen (2011, pp. 241-243) para obtener información más detallada al respecto, ya que ha sido el texto de referencia seguido en este caso.

Considerando por simplicidad una estructura de 2 niveles donde μ es el factor de escala del nivel superior y λ_j los factores de escala correspondientes a los J nidos ($j=1, \dots, J$), pueden definirse J parámetros Φ_j que son estimables. Sin embargo uno de los $J+1$ factores de escala no puede ser estimado.

Por este motivo se definen 2 normalizaciones, una superior donde se elige al factor μ como no identificable, y una inferior, donde se normaliza uno de los λ_j . Si la utilidad sistemática o representativa se define como una función lineal en los parámetros, la

relación entre los coeficientes estimados $\hat{\beta}$ y los de la población β , asumiendo que existen estos últimos, depende de la normalización elegida. Así pues, para la normalización superior:

$$\hat{\beta} = \mu \cdot \beta \quad (5.20)$$

Mientras que para la normalización inferior:

$$\hat{\beta} = \lambda \cdot \beta \quad (5.21)$$

Según las anteriores expresiones estas normalizaciones no quieren decir que se iguale a 1 el factor normalizado, sino que este factor multiplica a los parámetros de la función de utilidad “confundiéndose” con estos en lugar de tener un valor prefijado a priori. En la siguiente expresión, que describe la relación entre ambas normalizaciones, se observa que dependiendo de la normalización elegida los valores de los parámetros estimados serán diferentes (Carrasco & Ortúzar, 2002):

$$\begin{aligned} \hat{\phi}_j^{\text{sup}} &= \hat{\phi}_j^{\text{inf}}, \forall j \\ \hat{\beta}^{\text{sup}} &= \hat{\phi}_r \cdot \hat{\beta}^{\text{inf}} \end{aligned} \quad (5.22)$$

donde *sup* e *inf* indican normalización superior e inferior, respectivamente

Esto no es relevante cuando se quieren comparar valores de ratios (como el valor subjetivo del tiempo, por ejemplo), aunque sí lo es cuando se requiere una comparación directa entre parámetros de modelos NL y MNL. Este es uno de los motivos por los que es recomendable la normalización superior, evitándose también el problema de seleccionar el factor de escala de uno de los nidos en la normalización inferior. Además, la forma funcional de la probabilidad cuando se emplea la normalización superior es más simple (Ortúzar & Willumsen, 2011, p. 243).

5.2.3.6. Limitaciones del NL

Las principales limitaciones mostradas por esta tipología de modelo logit son las siguientes (Ortúzar, 2000, p. 114):

- Del mismo modo que el MNL, el NL tampoco permite tratar variaciones en los gustos de los individuos ni funciones de utilidad heteroscedásticas.
- El modelo sólo considera tantas interdependencias entre alternativas como nidos se hayan especificado en la estructura jerárquica. Además, no pueden tratarse correlaciones entre alternativas pertenecientes a nidos distintos.
- La búsqueda de la mejor estructura NL puede implicar un análisis de muchas estructuras jerárquicas, ya que su número aumenta rápidamente con el número de alternativas disponibles. En ese sentido, la teoría y la intuición del analista son de gran importancia para reducir el número de estructuras a analizar.

5.2.4. El modelo logit mixto (ML)

5.2.4.1. Introducción

Las referencias básicas para este apartado han sido el conocido manual *Modelling transport* de Ortúzar y Willumsen (2011, pp. 250-256) y la tesis doctoral de Orro (2005, pp. 51-62), que a su vez toma como referencia principal Train (2009) en su primera edición de 2003, por lo que en lo sucesivo se evita la referencia repetida a las mismas salvo en los casos en los que se considera estrictamente necesario.

El modelo logit mixto (*Mixed Logit*, ML) debe su formulación actual al trabajo en paralelo de 2 grupos de investigación en la década de los 90 (Ben-Akiva & Bolduc, 1996; McFadden & Train, 2000). La formulación original del mismo como modelo hedónico o logit con coeficientes aleatorios (*hedonic demand model* o *random coefficients logit*) fue realizada a finales de la década de los 70, siendo en la década de los 90 cuando se experimenta un mayor desarrollo de estudios aplicados al ámbito del transporte. Sin embargo, muchos de estos documentos surgen como documentos de trabajo y, o bien no se publican en revistas, o bien lo hacen más tarde, por lo que las referencias encontradas no siempre corresponden al orden cronológico de los trabajos.

La principal ventaja del ML es que puede aproximar cualquier modelo de utilidad aleatoria (McFadden & Train, 2000), y permite resolver además 3 de las limitaciones del logit multinomial (Orro 2005, p. 53): posibilidad de considerar variaciones aleatorias en los gustos de los individuos, plasmar patrones de sustitución sin restricciones y permitir la correlación entre los factores no observados a lo largo del tiempo.

5.2.4.2. Planteamiento general

Los modelos ML pueden definirse a partir de la forma funcional de las probabilidades de elección asociadas a los mismos. Así, un modelo ML es cualquier modelo en el que se calcule la probabilidad de elección como la probabilidad logit integrada sobre las funciones de densidad de los parámetros:

$$P_{jq} = \int L_{jq}(\beta) f(\beta) d\beta \quad (5.23)$$

siendo $L_{jq}(\beta)$ la probabilidad logit evaluada para el valor de los parámetros β , que será igual a:

$$L_{jq}(\beta) = \frac{e^{\mu V_{jq}(\beta)}}{\sum_{A_j \in A(q)} e^{\mu V_{iq}(\beta)}} \quad (5.24)$$

La función de densidad de los parámetros $f(\beta)$ es conocida con el nombre de distribución de mezcla (*mixing distribution*). Por lo tanto, de la ecuación (5.23) se deduce que la probabilidad corresponde a una media ponderada de la fórmula logit evaluada con diferentes valores de los parámetros β , utilizando como pesos los valores de la distribución de mezcla $f(\beta)$.

Puede observarse que el MNL es un caso particular de esta formulación en la que $f(\beta)=1$ si $\beta=b$ (siendo b valores constantes), y $f(\beta)=0$ en otro caso. También podría darse que $f(\beta)$ fuese una función discreta (dando lugar a un modelo de clases latentes, con aplicación más frecuente en marketing o psicología), aunque en la mayor parte de las aplicaciones del logit mixto se han empleado funciones continuas de distintos tipos con media b y matriz de covarianza Ω .

5.2.4.3. Especificación como componentes de error (EC)

El modelo ML puede presentar 2 especificaciones diferentes: especificación como componentes de error (*error components*, EC) y especificación como coeficientes aleatorios (*random coefficients*, RC).

La especificación como componentes de error supone que el error cometido al emplear la componente determinística de la utilidad puede dividirse en 2 partes: una parte que contiene la posible correlación y heteroscedasticidad, y que puede seguir cualquier distribución (γ_{jqs}); y otra parte que es del tipo Gumbel IID (ε_{jqs}). En este caso la utilidad de la alternativa j para el individuo q en la situación de elección s viene dada por la siguiente expresión:

$$U_{jqs} = V_{jqs} + \gamma_{jqs} + \varepsilon_{jqs} \quad (5.25)$$

Cuando la utilidad se toma como una función lineal en los parámetros puede expresarse como:

$$U_{jqs} = \alpha_{js} X_{jqs} + \xi_{jqs} Z_{jqs} + \varepsilon_{jqs} \quad (5.26)$$

Donde α son coeficientes fijos correspondientes a los atributos influyentes X , mientras que ξ es un vector de coeficientes aleatorios que siguen una distribución especificada por el analista (con media cero y una matriz de covarianza desconocida), que ponderan datos Z observados. Por lo tanto, pueden tomarse estos como iguales a 1 para todas las alternativas, quedando así la expresión de la matriz de covarianza de las utilidades del modelo de la siguiente forma:

$$Cov(U_{jqs}) = Cov(\xi_{jqs}) + (\pi^2/\lambda^2) \cdot I_J \quad (5.27)$$

siendo I_J una matriz identidad de dimensión $J \times J$ (J es el número total de alternativas disponibles). Es la adecuada elección de ξ_{jqs} lo que permite plasmar diferentes estructuras de error tales como la especificación de alternativas heteroscedásticas, patrones de sustitución entre alternativas, anidamientos cruzados o estructuras autorregresivas, etc. Esto hace que el ML fuese considerado en su momento como el “modelo del nuevo milenio” (Ortúzar & Willumsen, 2011, p. 250; la frase aparece por primera vez en la edición de 2001, p.240).

5.2.4.4. Especificación como coeficientes aleatorios (RC)

En este caso los parámetros de la utilidad son diferentes para cada uno de los individuos q incluidos en la muestra, aunque no varían entre las situaciones de

elección. Esta última restricción puede relajarse siempre y cuando las situaciones de elección estén suficientemente separadas en el tiempo, por lo que los parámetros que representan los gustos podrían variar (Hess & Rose, 2009). La utilidad de la alternativa j para el individuo q en la situación de elección s se expresa de la siguiente forma:

$$U_{jqs} = \alpha_q X_{jqs} + \varepsilon_{jqs} \quad (5.28)$$

siendo X las variables influyentes observadas y α los parámetros asociados a estas variables, que reflejan los gustos del individuo q . Estos parámetros varían entre individuos siguiendo una función de densidad en la población $f(\alpha)$.

Esta especificación es equivalente a la especificación como componentes de error sin más que descomponer los coeficientes α_q en sus medias y sus desviaciones típicas y considerar Z igual a X . Sin embargo la elección de una u otra se da en función de la interpretación que el analista realiza sobre el problema objeto de estudio: mientras que la especificación como coeficientes aleatorios explicita generalmente las variaciones en los gustos de los encuestados, se recurre a la especificación como componentes de error para estudiar los patrones de sustitución entre alternativas (Cherchi & Ortúzar, 2004).

5.2.4.5. Cálculo de la probabilidad de elección mediante simulación

Al contrario de lo que sucedía para los modelos del tipo MNL o NL, la integral asociada a la probabilidad de elección en modelos ML (5.23) no tiene solución analítica, por lo que es necesario recurrir a métodos que incluyen simulación.

Mediante el siguiente procedimiento se aproximan las probabilidades a través de la simulación para cada valor dado de los parámetros de la distribución de β :

- En primer lugar se genera un primer valor de β , denominado β^r , indicando el superíndice r el número de extracción (en este caso, $r=1$). Para obtener este valor se pueden emplear múltiples técnicas de extracción aleatoria o pseudo-aleatoria, de las que puede encontrarse un análisis en Train (2009, cap. 9, pp. 205-236).
- A continuación se calcula el valor de la fórmula logit $L_{jq}(\beta^r)$ según la expresión (5.24) con el valor extraído.

- Por último deben repetirse los 2 pasos anteriores un número elevado de repeticiones (R) y promediarse los resultados para obtener la probabilidad simulada:

$$SP_{jq} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R L_{jq}(\beta^r) \quad (5.29)$$

siendo SP_{jq} un estimador insesgado de P_{jq} por construcción, y su varianza decrece cuando se incrementa el valor de R (Train, 2009, p. 144).

5.2.4.6. Estimación del ML

La estimación de los parámetros del modelo, es decir, los parámetros de la distribución característica de los coeficientes β , se puede realizar de varias formas:

- Estimación clásica: requiere la maximización de una función mediante alguno de los métodos descritos por Train (2009, cap. 8, pp. 183-204). En este caso existen 3 procedimientos (Máxima verosimilitud simulada, Método de momentos simulados y Método de puntuaciones simuladas), los cuales también han sido descritos en Orro (2005, pp. 63-68).
- Estimación bayesiana: en este caso no es necesario simular las probabilidades de elección, y las condiciones para alcanzar eficiencia y consistencia son menos restrictivas que con el procedimiento clásico.

En función de la especificación del modelo puede ser más atractivo una de las 2 estimaciones posibles, por ejemplo, para modelos con distribuciones normales y matriz de covarianza completa es más adecuada la estimación bayesiana, mientras que para modelos más simples con algunos coeficientes fijos o con distribuciones limitadas (uniforme, triangular, etc.), la estimación clásica es preferible.

5.2.4.7. Datos de panel

Cuando se tienen varias observaciones espaciadas temporalmente o múltiples situaciones de elección en encuestas PD para un único individuo, es aconsejable tener en cuenta este hecho a la hora de realizar la modelización. Esto es posible debido a la flexibilidad que ofrecen los modelos ML en su formulación.

Revelt y Train (1998) propusieron una formulación ML que permite la variación aleatoria en los gustos de los distintos individuos (*inter-respondent heterogeneity*) no permitiendo variaciones entre las observaciones pertenecientes al mismo individuo (*intra-respondent homogeneity*), con lo que se consigue tener en cuenta el efecto de múltiples elecciones realizadas por el mismo individuo. Posteriormente Hess y Rose (2009) propusieron una formulación que permite variación en los gustos entre las observaciones del mismo individuo. Esto puede ser especialmente útil si las observaciones se toman suficientemente alejadas en el tiempo, puesto que en otro caso es razonable pensar que los gustos de un individuo no varían significativamente.

De hecho es el primer enfoque el más utilizado cuando se tienen múltiples situaciones de elección PD por individuo, obteniéndose generalmente mejoras significativas en los ajustes de los modelos obtenidos (Ortúzar & Willumsen, 2011, p. 260-261).

En cuanto al cálculo de la probabilidad de elección la única diferencia entre un ML con elecciones múltiples y uno con una única elección por individuo es que el integrando de la expresión (5.23) está constituido por un producto de funciones logit en lugar de una única función. Por lo tanto a la hora de simular la probabilidad se realiza una generación de un valor β de su distribución, se calcula la formula logit para cada periodo y se obtiene el producto de esas logits, repitiéndose el proceso un número de generaciones y promediando el resultado (Train, 2009, p. 146). Así es como se genera una correlación entre las elecciones de cada situación perteneciente a un individuo, que va a depender de las características de la distribución de los coeficientes y de la similitud de los valores de las variables en cada situación.

5.2.5. Identificación en modelos de elección discreta

5.2.5.1. Introducción

Cuando se realiza una estimación de un modelo de elección discreta se utilizan una serie de datos observados para obtener estimadores de los parámetros desconocidos que forman parte del modelo. El problema asociado a la identificación de los mismos es debido a que puede no existir un único vector de parámetros que maximice la utilidad, siendo necesario imponer restricciones de identificación de forma que se pueda estimar una solución única consistente. Estas restricciones pueden ser de 2 tipos (Walker, Ben-Akiva & Bolduc, 2007, pp. 1096-1097):

- Cualquier restricción que cambie el comportamiento representado por el modelo, y que por lo tanto influye en las predicciones realizadas con el mismo. Este tipo de restricciones condiciona gravemente los resultados obtenidos en cuanto a la representación del fenómeno estudiado.
- Cuando existen numerosas soluciones del problema y cualquiera de ellas válida, es necesario imponer restricciones en algunos de los parámetros para obtener una solución única. El conjunto de este tipo de restricciones es conocido con el nombre de normalización.

5.2.5.2. Reglas de identificación en modelos MNL y NL

En modelos homoscedásticos la restricción impuesta por esta hipótesis es suficiente para solventar gran parte de las necesidades de normalización. En el caso del modelos MNL estas necesidades se relacionan con la imposibilidad de estimar el parámetro de escala global μ y con fijar como cero una de las constantes específicas de alternativa (ASC) (Ortúzar & Willumsen, 2011, p. 254).

Existen otras restricciones relacionadas con las variables incluidas en la especificación de la utilidad de las alternativas, por ejemplo, las variables propias del individuo, como las socioeconómicas (bien sean genéricas o específicas) solamente pueden incluirse en $J-1$ alternativas (siendo J el número total de alternativas disponibles). También debe considerarse el caso de variables que se establecen como L categorías excluyentes sin que exista un orden en las mismas o sin que pueda medirse la distancia entre ellas (por ejemplo, el tipo de modo de transporte en la elección PR), debe dejarse una de estas categorías como referencia especificando solamente $L-1$ variables mudas binarias que suponen la pertenencia a esa categoría (Orro, 2005, p. 131).

En los modelos NL también son aplicables las consideraciones anteriores, siendo necesario realizar una normalización adicional debido a la introducción de nidos. Esta normalización puede ser superior o inferior (apartado 5.2.3.5.).

5.2.5.3. Reglas de identificación en modelos ML

Además de las restricciones correspondientes al MNL que deben aplicarse sobre el vector de parámetros β , es necesario considerar la identificación de los parámetros correspondientes a la distribución de los términos del error aleatorio.

La principal referencia en cuanto al problema de la identificación en modelos con estructuras de error flexibles es la profesora de la Universidad de Berkeley Joan Walker, cuya tesis doctoral (Walker, 2001) y sucesivas publicaciones (Walker, 2002; Walker et al., 2007; Chiou & Walker, 2007) constituyen excelentes revisiones de las diferentes problemáticas relacionadas con la identificación en modelos de este tipo. En esencia, existen 2 tipos de problemas de identificación en modelo ML: la identificación teórica, la cual es inherente a la especificación del modelo independientemente de los datos disponibles, y la identificación empírica, que depende de la información empleada para realizar la estimación.

Identificación teórica

En Walker et al. (2007, pp. 1101-1102) se muestra el procedimiento para subsanar los problemas de identificación de este tipo. En particular, se muestran las 3 condiciones que deben cumplirse para que el modelo sea identificable: condición de orden, condición de rango y condición de igualdad.

La condición de orden, siendo una condición necesaria, establece que el máximo número de parámetros asociados al error aleatorio (S) que pueden ser estimados en la especificación EC del modelo es igual a la siguiente expresión:

$$S \leq \frac{J \cdot (J - 1)}{2} - 1 \quad (5.30)$$

siendo J el número de alternativas disponibles. Este número es igual al número de elementos únicos de la matriz de covarianza de la diferencia entre utilidades (Ω_A) menos 1 para fijar la escala.

La condición de rango hace referencia al rango de la matriz de covarianza de la diferencia entre utilidades, y es una condición suficiente para asegurar la identificación teórica. Es más restrictiva que la anterior y señala que el número de parámetros que pueden ser estimados es igual al rango de la matriz jacobiana (siendo esta la derivada de los elementos diferentes de Ω_A ordenados en un vector en columna) menos 1 de nuevo para fijar la escala.

Finalmente, la condición de igualdad se emplea para verificar que la normalización elegida es válida, es decir, la solución única obtenida maximiza la log-verosimilitud. Debe comprobarse que las probabilidades para la matriz Ω_A de cualquiera de las

soluciones no normalizadas, son las mismas que las probabilidades obtenidas mediante el proceso de normalización.

Es importante destacar que el problema de la identificación teórica para atributos continuos es crucial en la especificación EC de modelos ML, pero no existe en su especificación RC. En modelos con esta última especificación los parámetros aleatorios se asocian con atributos conocidos y por tanto siempre hay información que permite teóricamente la identificación de parámetros extra.

Identificación empírica

Este tipo de problema se da cuando un modelo es teóricamente estimable pero la información disponible para su estimación no es suficiente. En teoría, los parámetros serían empíricamente identificables si se tienen un número de observaciones suficientemente grande, y el número de extracciones aleatorias en el procedimiento de máxima verosimilitud simulada también es lo suficientemente grande, como para que conjuntamente se proporcione la información necesaria.

Sin embargo el número de observaciones y/o extracciones en la práctica es finito y puede no ser suficiente en según qué caso. Ortúzar y Willumsen (2011, pp. 255-256) realizan una breve recopilación de estudios que analizan este aspecto, destacando el de Cherchi y Ortúzar (2008), que emplean datos sintéticos para analizar la influencia en la identificación empírica de aspectos relacionados con la muestra tales como la variabilidad de los datos, el grado de heterogeneidad en los parámetros de gusto de los individuos, el tamaño de muestra y el número de situaciones de elección al que se enfrenta cada encuestado. Concluyen que se dan problemas de identificación empírica cuando algún atributo tiene poca variabilidad entre alternativas, mientras que si la diferencia en los atributos presenta una variabilidad elevada no existen problemas de identificación independientemente del número de extracciones empleadas. Además, la capacidad del ML de plasmar heterogeneidad aumenta con el número de situaciones de elección disponibles por individuo, reduciéndose el efecto del tamaño de la muestra sobre la identificación empírica a medida que este número de situaciones de elección crece.

Variaciones aleatorias en las constantes específicas de las alternativas

Aplicando las restricciones correspondientes a la identificación teórica puede afirmarse que si existen 2 alternativas no pueden estimarse los parámetros de las desviaciones asociadas a estas constantes. Si existen 3 alternativas o más, solamente una de estas

desviaciones no está identificada, por lo que pueden estimarse el resto siempre y cuando se normalice el valor de una de ellas (Orro, 2005, p.136-146).

Con el objetivo de que se cumplan las restricciones de la identificación teórica las diferentes fuentes consultadas (Orro, 2005; Walker, 2001; Walker et al., 2007), se aconseja fijar a cero el valor de la varianza mínima. Puesto que es imposible conocer el valor de la varianza mínima sin estimar los modelos correspondientes, este proceso puede realizarse de 2 formas:

- Estimar todos los modelos posibles de forma que en cada uno de ellos se normaliza a cero el valor de una de las desviaciones. El modelo identificado será aquel que presente una mayor log-verosimilitud. El principal inconveniente de este método es evidente: a medida que aumenta el número de alternativas también lo hace el número de modelos que deben estimarse.
- La segunda opción consiste en estimar un modelo sin restringir ninguna de las desviaciones, y aunque en teoría no está identificado se obtendrá un resultado con desviaciones muy grandes (debido a las pequeñas diferencias existentes entre la distribución logística y la normal). Esto permite conocer la alternativa que tiene asociada una menor varianza y por tanto se estima posteriormente el modelo identificado fijando esta varianza a cero.

Identificación con datos de panel

Merece la pena destacar que la identificación en este caso es diferente a la que se da en modelos con datos de sección transversal, debido a que los componentes del error en la distribución de mezcla toman el mismo valor para todas las elecciones de un individuo, mientras que los términos finales IID son diferentes para cada elección Walker et al. (2007). Por lo tanto, los errores de un modelo logit mixto de este tipo crean correlación entre las elecciones realizadas por un individuo, la cual puede ser empleada para la propia identificación.

5.3. Procedimiento de búsqueda de modelos: especificaciones de utilidad de las alternativas

Cuando un analista inicia la tarea de buscar el modelo de reparto modal que mejor represente el comportamiento de los usuarios ante el fenómeno estudiado, este puede actuar sobre 2 aspectos clave: en primer lugar tanteando diferentes especificaciones o

formas de la utilidad de las alternativas disponibles, y en segundo lugar analizando los resultados obtenidos mediante distintas tipologías de DCM.

En la presente investigación se han explorado múltiples posibilidades en lo que a la forma de la utilidad de las alternativas se refiere. Las principales consideraciones relacionadas con este aspecto se resumen en los puntos siguientes:

- Se han considerado una búsqueda de forma exhaustiva de diferentes especificaciones con variables genéricas y específicas. Las variables genéricas tienen asociados coeficientes que son iguales en la función de utilidad de varias alternativas, mientras que los coeficientes correspondientes a variables específicas son diferentes en las funciones de utilidad de todas las alternativas implicadas (Ortúzar & Willumsen, 2011, p. 233).
- Todas las especificaciones de la utilidad de las alternativas son lineales en los parámetros y solamente incluyen los efectos principales de los atributos en la elección. No se consideraron relevantes para investigar la existencia del *rail factor* especificaciones no lineales en los parámetros ni que incluyan los efectos de las interacciones entre atributos. Estas posibilidades son consideradas como posibles líneas de investigación futura en el capítulo 7.
- No se incluyen en este capítulo modelos en los que se especifiquen atributos de carácter socioeconómico, como la edad, el sexo o el nivel de gasto mensual neto. Esto es debido a que tras realizar diversas pruebas y modelizaciones, los coeficientes asociados a estos atributos no se mostraron como significativos estadísticamente hablando. Es posible que las características de la muestra, y en concreto la homogeneidad que presenta la población seleccionada, influya de forma directa en este aspecto (véase capítulo 4). Se incluyen en el capítulo 7 como posibles líneas de investigación futura, estimaciones de modelos con especificaciones que incluyan estas características socioeconómicas de forma no lineal, o en las que se estudien los efectos de las interacciones entre estas y otros atributos influyentes en la elección.

En cuanto a la tipología de DCM, en esta tesis se emplean modelos MNL, NL y ML, tal y como se comentó en apartados previos. Este abanico permite explorar diferentes posibilidades en cuanto a las estructuras de error, como por ejemplo las correlaciones entre alternativas y observaciones, así como las variaciones en los gustos.

Tras el procedimiento de búsqueda se elige la mejor combinación de especificación/modelo teniendo en cuenta tanto los resultados de los test estadísticos,

como su adecuación o consistencia teórica con el fenómeno estudiado en cada estudio particular.

Para finalizar se destaca que solamente se han tenido en cuenta modelos cuya especificación se basa en datos PD, o que incluyen en algunos casos variables recopiladas en la sección PR de las encuestas (como la experiencia previa de los usuarios con la red de transporte público PR o la elección de modo para el desplazamiento PR). No se ha considerado la modelización con datos mixtos, es decir con datos PR y PD de forma conjunta, en las que se tienen en cuenta 2 especificaciones para cada alternativa (una con datos PR y otra con datos PD). Esto es debido a que en ninguna localización, salvo en Nantes, se presentan los 2 SCI que forman parte de la investigación (LRT y BHLS), por lo que se ha decidido captar la influencia de la experiencia PR de la forma en la que se indica anteriormente. Además, esta metodología implica una asignación de recursos muy superior a la disponible para la investigación, ya que debido al número elevado de encuestados y al carácter internacional de la misma, sería muy costoso adquirir la información necesaria sobre las alternativas disponibles y no elegidas para el viaje PR. El doctorando posee experiencia con este tipo de procedimiento y tipología de modelización, la cual fue adquirida en anteriores investigaciones que sirvieron como base para la presente tesis (para más información pueden consultarse Anta et al., 2012; Anta et al., 2016)

5.3.1. Consideraciones previas

Antes de mostrar las diferentes especificaciones de la utilidad de las alternativas en las modelizaciones realizadas, es conveniente destacar una serie de consideraciones relacionadas con la forma en la que se valora la influencia de ciertas variables categóricas mediante diferentes tipos de codificaciones. También se describen algunas generalidades correspondientes a las variables influyentes y alternativas de transporte implicadas, así como la especificación de partida empleada.

5.3.1.1. Codificación de atributos categóricos: código *dummy* y código *effects*

Cuando se expresa un atributo a través de categorías se supone que cada una de ellas representa la pertenencia a un nivel de ese atributo en concreto. Por ejemplo, si consideramos un atributo para el número de transbordos con n niveles de variación, se

definen $n-1$ variables que representan cada uno de los niveles, excepto 1 que se toma como referencia para permitir la identificación.

A efectos de modelización esto se traduce en un valor igual a 1 para la categoría del atributo cuando se presenta esta categoría en la situación de elección, siendo esta consideración común a los 2 códigos presentados a continuación (*dummy* y *effects*). La única diferencia entre codificaciones se da cuando el atributo en cuestión presenta la categoría o nivel de referencia.

En el código *dummy* el valor que toma la categoría del atributo cuando esta categoría no se da en la situación de elección es igual a cero en todos los casos, es decir, independientemente de que en esa situación de elección se dé otra categoría o la categoría de referencia. Por lo tanto, los efectos del nivel de referencia no pueden estimarse por separado de la constante específica de la alternativa (ASC) y tampoco pueden identificarse los efectos por separado del resto de categorías (Hensher et al., 2005, pp. 119-120).

El código *effects* tiene las mismas ventajas que el código *dummy*, resolviendo el problema de la identificación de los efectos de las distintas categorías (Hensher et al., 2005, pp. 120-121). En este caso cuando se da el nivel de referencia en el resto de categorías del atributo se toma un valor igual a -1.

La mayor repercusión de estos códigos en la estimación de modelos es que si se emplea la codificación *effects*, el valor de los coeficientes β asociados a cada categoría es independiente de la categoría tomada como referencia, y por tanto lo mismo sucede con el valor de las ASC. Sin embargo, si se emplea la codificación *dummy* tanto los valores de las categorías como los de las ASC dependen de la elección de la categoría de referencia.

Este aspecto es especialmente importante en el análisis realizado en esta tesis, ya que una parte del mismo se basa en la comparación de las constantes específicas de la alternativa autobús y la alternativa ferroviaria, como indicador de la posible existencia del *rail factor*. Para que este análisis sea correcto deben aislarse los efectos de las variables introducidas en los diferentes modelos, y que así la ASC de cada alternativa represente los efectos no observados por el analista.

Además, esta codificación facilita que las observaciones en las que no se disponga de datos relativos a alguno de los atributos categóricos no influyan en el resultado de la estimación, lo que parece lo lógico a efectos de modelización de cualquier fenómeno.

5.3.1.2. Alternativas, atributos y niveles de atributo implicados

Las diferentes estimaciones de modelos realizadas en esta tesis se basan en los datos obtenidos mediante la encuesta final y la encuesta complementaria, que fueron presentadas en el capítulo tercero. A modo de recordatorio se destaca que las alternativas implicadas en los distintos experimentos de elección planteados son 3 (coche, autobús y una alternativa ferroviaria), mientras que los atributos influyentes pueden ser de 2 tipos:

- Atributos que se incluyen en el ejercicio de elección PD: tiempo, coste, número de transbordos, intervalo de paso entre vehículos y tipo de transporte público. Todos ellos presentan 3 niveles de variación. Mientras que el tiempo, el coste y el intervalo entre vehículos toman valores numéricos en la modelización, el número de transbordos y el tipo de transporte público se modelizan como categóricos (para más información véase capítulo tercero).
- Atributos que provienen de la sección PR de la encuesta: estos son la percepción de la experiencia previa con la red de transporte público existente en el momento de realizar la encuesta y el tipo de modo de transporte empleado en el desplazamiento PR. Ambas son variables categóricas con 2 (usuario no habitual y usuario habitual) y 4 (no motorizado, privado, público sobre neumáticos y público ferroviario) niveles de variación, respectivamente. Puede encontrarse más información respecto a los atributos de la sección PR recopilados mediante la encuesta en el capítulo cuarto.

Tal y como se menciona anteriormente no se muestran modelizaciones con atributos de índole socioeconómico (edad, sexo, nivel de gasto neto mensual). Esto es debido a que dada la homogeneidad de la población estudiada, estas variables no se mostraron como significativas en las diferentes pruebas realizadas.

5.3.1.3. Especificación general de la utilidad de las alternativas

En la presente tesis el procedimiento de estimación de modelos de elección modal se basa en la realización de 2 experimentos de elección, que se diferencian en la

inclusión o no del atributo tipo de transporte público como influyente en la elección (experimento 1 y 2, respectivamente). Por otra parte se presentan 2 escenarios posibles para cada uno de ellos, que se diferencian en la disponibilidad de la alternativa coche en el ejercicio de elección (solo disponible en el escenario B).

A la hora de buscar la especificación de la utilidad que mejor represente el fenómeno estudiado se parte de la especificación más general posible, es decir, considerando todos los atributos como específicos de cada una de las alternativas. Esta especificación de las utilidades para el experimento 1/escenario B viene dada por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \beta_{t,1} \cdot t_1 + \beta_{c,1} \cdot c_1 \\
 V_2 &= ASC_2 + \beta_{t,2} \cdot t_2 + \beta_{c,2} \cdot c_2 + \beta_{f,2} \cdot f_2 + \beta_{m1,2} \cdot nt1_2 + \beta_{m2,2} \cdot nt2_2 + \beta_{ptB,2} \cdot ptB_2 + \beta_{ptA,2} \cdot ptA_2 \\
 V_3 &= ASC_3 + \beta_{t,3} \cdot t_3 + \beta_{c,3} \cdot c_3 + \beta_{f,3} \cdot f_3 + \beta_{m1,3} \cdot nt1_3 + \beta_{m2,3} \cdot nt2_3 + \beta_{ptB,3} \cdot ptB_3 + \beta_{ptA,3} \cdot ptA_3
 \end{aligned}
 \tag{5.31}$$

siendo:

$j=1,2,3$ las alternativas disponibles (coche, autobús y modo ferroviario, respectivamente)

V_j la utilidad sistemática o representativa de la alternativa j

ASC_j la constante específica de la alternativa j

$\beta_{t,j}$ el coeficiente correspondiente al tiempo de la alternativa j

t_j el valor del tiempo para la alternativa j

$\beta_{c,j}$ el coeficiente correspondiente al coste de la alternativa j

c_j el valor del coste para la alternativa j

$\beta_{f,j}$ el coeficiente correspondiente al intervalo entre vehículos de la alternativa j

f_j el valor del intervalo entre vehículos para la alternativa j

$\beta_{m1,j}$ el coeficiente correspondiente a la categoría "1 transbordo" para el atributo número de transbordos de la alternativa j

$nt1_j$ el valor de codificación tipo *effects* correspondiente a la categoría "1 transbordo" para el atributo número de transbordos de la alternativa j

$\beta_{m2,j}$ el coeficiente correspondiente a la categoría "2 transbordos" para el atributo número de transbordos de la alternativa j

$nt2_j$ el valor de codificación tipo *effects* correspondiente a la categoría "2 transbordos" para el atributo número de transbordos de la alternativa j

$\beta_{ptB,j}$ el coeficiente correspondiente a la categoría "transporte público tipo B" para el atributo tipo de transporte público de la alternativa j

ptB_j el valor de codificación tipo *effects* correspondiente a la categoría “transporte público tipo B” para el atributo tipo de transporte público de la alternativa j

$\beta_{ptA,j}$ el coeficiente correspondiente a la categoría “transporte público tipo A” para el atributo tipo de transporte público de la alternativa j

ptA_j el valor de codificación tipo *effects* correspondiente a la categoría “transporte público tipo A” para el atributo tipo de transporte público de la alternativa j

Puede apreciarse en la especificación mostrada que se toma al coche como alternativa de referencia para la identificación de las constantes específicas. Los niveles de referencia para los atributos categóricos son los correspondientes a las categorías “ningún transbordo” y “transporte público tipo C”.

5.3.2. Especificación de modelos logit multinomial

Todas las especificaciones realizadas, tanto para los modelos MNL como para los correspondientes modelos NL y ML, pueden verse en el anexo A15.

5.3.2.1. Modelos a partir de la especificación base

En primer lugar debe destacarse que la especificación anterior (general), presentada en la ecuación (5.31), no se corresponde con la empleada en el diseño experimental eficiente, en la que se consideraron los atributos “intervalo entre vehículos” y “número de transbordos” como genéricos para las alternativas de transporte público. Esta decisión se tomó en su momento basándose en los resultados de la encuesta piloto, y se ha mostrado como acertada en vista de los resultados obtenidos en los diferentes test estadísticos en casi todas las modelizaciones analizadas. Además, desde el punto de vista teórico también parece adecuado el tratar estos atributos característicos de las alternativas de transporte público de forma genérica, debido a las implicaciones de la definición de *rail factor*. Por lo tanto se obtuvo una segunda especificación que se denomina como especificación base, a partir de la cual se derivan distintas especificaciones, tal y como puede verse en la figura 5.3.

A partir de esta especificación base (modelo 2) y para continuar con el proceso de búsqueda, se introducen restricciones en forma de coeficientes genéricos para algún

atributo que es compartido por 2 o más alternativas. Los modelos así obtenidos contienen las restricciones de su predecesor siguiendo 3 líneas principales, lo que permite realizar comparaciones mediante los test estadísticos apropiados (definidos en el apartado 5.4.). Estas 3 líneas o grandes bloques de especificaciones seguidas en los modelos estimados son las siguientes:

1. Tipo de transporte público genérico: se parte de la especificación base y se restringen los coeficientes correspondientes a este atributo, para que sean iguales en las alternativas de transporte público. Se analiza la posibilidad de que las categorías sean genéricas de forma independiente (categoría B para el modelo 3 o categoría A para el modelo 4) o conjunta (categorías B y A para el modelo 5).
2. Coste genérico para las alternativas del transporte público: se parte de una especificación derivada de la especificación base en la que se restringen los coeficientes del coste para el transporte público (modelo 6). A partir de esta se derivan modelos aplicando restricciones paulatinas sobre el tiempo para el transporte público (modelo 10), el coste para todas las alternativas (modelo 14) y el tiempo para todas las alternativas (modelo 18). Para cada uno de estos modelos intermedios se derivan sub-modelos adicionales teniendo en cuenta restricciones sobre los coeficientes del atributo tipo de transporte público, del mismo modo que en el apartado anterior.
3. Coste genérico para todas las alternativas: se restringen los coeficientes del coste para todas las alternativas (transporte público y coche) en el modelo 22. Posteriormente se derivan sub-modelos aplicando las restricciones sobre los coeficientes correspondientes al tipo de transporte público (modelos 23 a 25).

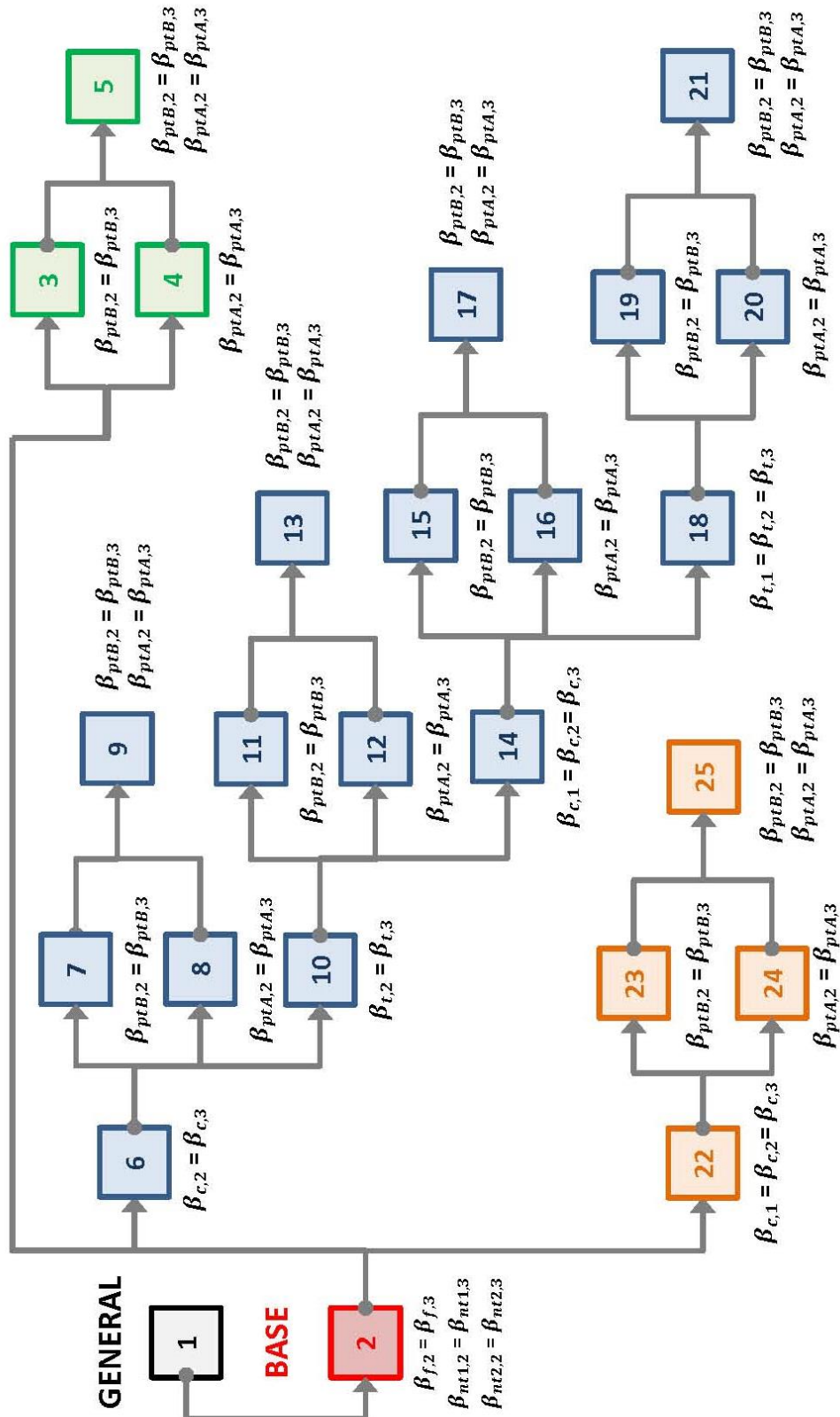


Fig. 5.3. Esquema de los diferentes modelos en función de las especificaciones de la utilidad de las alternativas a partir de la especificación base

En la figura 5.3. se presenta un esquema en el que se muestran los modelos restringidos que se obtienen a partir de la especificación base. Puede verse que de esta forma se obtienen 25 especificaciones de la utilidad para el caso más general (experimento 1/escenario B), las cuales presentan las siguientes características:

1. MNL1: Especificación general.
2. MNL2: Especificación base. Intervalo entre vehículos y número de transbordos genéricos para alternativas de transporte público ($\beta_{f,2} = \beta_{f,3} = \beta_f$; $\beta_{nt1,2} = \beta_{nt1,3} = \beta_{nt1}$ y $\beta_{nt2,2} = \beta_{nt2,3} = \beta_{nt2}$).
3. MNL3: Restricciones de MNL2 más “categoría B” del tipo de transporte público genérica ($\beta_{ptB,2} = \beta_{ptB,3} = \beta_{ptB}$).
4. MNL4: Restricciones de MNL2 más “categoría A” del tipo de transporte público genérica ($\beta_{ptA,2} = \beta_{ptA,3} = \beta_{ptA}$).
5. MNL5: Restricciones de MNL3 y MNL4 de forma combinada (β_{ptB} y β_{ptA}).
6. MNL6: Restricciones de MNL2 más coste genérico para alternativas del transporte público ($\beta_{c,2} = \beta_{c,3} = \beta_{c,pt}$).
7. MNL7: Restricciones de MNL6 más “categoría B” del tipo de transporte público genérica ($\beta_{ptB,2} = \beta_{ptB,3} = \beta_{ptB}$).
8. MNL8: Restricciones de MNL6 más “categoría A” del tipo de transporte público genérica ($\beta_{ptA,2} = \beta_{ptA,3} = \beta_{ptA}$).
9. MNL9: Restricciones de MNL7 y MNL8 de forma combinada (β_{ptB} y β_{ptA}).
10. MNL10: Restricciones de MNL6 más tiempo genérico para alternativas del transporte público ($\beta_{t,2} = \beta_{t,3} = \beta_{t,pt}$).
11. MNL11: Restricciones de MNL10 más “categoría B” del tipo de transporte público genérica ($\beta_{ptB,2} = \beta_{ptB,3} = \beta_{ptB}$).
12. MNL12: Restricciones de MNL10 más “categoría A” del tipo de transporte público genérica ($\beta_{ptA,2} = \beta_{ptA,3} = \beta_{ptA}$).
13. MNL13: Restricciones de MNL11 y MNL12 de forma combinada (β_{ptB} y β_{ptA}).
14. MNL14: Restricciones de MNL10 más coste genérico para todas las alternativas ($\beta_{c,1} = \beta_{c,2} = \beta_{c,3} = \beta_{c,G}$).
15. MNL15: Restricciones de MNL14 más “categoría B” del tipo de transporte público genérica ($\beta_{ptB,2} = \beta_{ptB,3} = \beta_{ptB}$).
16. MNL16: Restricciones de MNL14 más “categoría A” del tipo de transporte público genérica ($\beta_{ptA,2} = \beta_{ptA,3} = \beta_{ptA}$).
17. MNL17: Restricciones de MNL15 y MNL16 de forma combinada (β_{ptB} y β_{ptA}).
18. MNL18: Restricciones de MNL14 más tiempo genérico para todas las alternativas ($\beta_{t,1} = \beta_{t,2} = \beta_{t,3} = \beta_{t,G}$).

19. MNL19: Restricciones de MNL18 más “categoría B” del tipo de transporte público genérica ($\beta_{ptB,2} = \beta_{ptB,3} = \beta_{ptB}$).
20. MNL20: Restricciones de MNL18 más “categoría A” del tipo de transporte público genérica ($\beta_{ptA,2} = \beta_{ptA,3} = \beta_{ptA}$).
21. MNL21: Restricciones de MNL19 y MNL20 de forma combinada (β_{ptB} y β_{ptA}).
22. MNL22: Restricciones de MNL2 más coste genérico para todas las alternativas ($\beta_{c,1} = \beta_{c,2} = \beta_{c,3} = \beta_{c,G}$).
23. MNL23: Restricciones de MNL22 más “categoría B” del tipo de transporte público genérica ($\beta_{ptB,2} = \beta_{ptB,3} = \beta_{ptB}$).
24. MNL24: Restricciones de MNL22 más “categoría A” del tipo de transporte público genérica ($\beta_{ptA,2} = \beta_{ptA,3} = \beta_{ptA}$).
25. MNL25: Restricciones de MNL23 y MNL24 de forma combinada (β_{ptB} y β_{ptA}).

5.3.2.2. Modelos a partir de la especificación de referencia

De entre todos los modelos presentados anteriormente se elige el más apropiado para representar el comportamiento de los individuos ante el fenómeno *rail factor*. Este modelo, que será el empleado en el análisis comparativo entre las diferentes localizaciones, se denomina como modelo de referencia, y la especificación para el mismo depende del experimento considerado.

La elección del modelo de referencia está motivada principalmente por 3 cuestiones:

- La capacidad explicativa que aportan los coeficientes de los atributos implicados sobre el fenómeno estudiado, interpretada a partir de un análisis de los valores característicos de cada estimación (como por ejemplo la log-verosimilitud, la bondad de ajuste, etc.). También se analizan los distintos test estadísticos definidos en el apartado 5.4.1 (como el de razón de verosimilitud, test-t, etc.).
- La consistencia que muestran los modelos con un comportamiento teóricamente razonable de los individuos, o lo que es lo mismo, que la mayor parte de los coeficientes presenten signo y magnitudes relativas intuitivamente correctas. Por ejemplo, no es razonable que para el atributo número de transbordos los coeficientes asociados a las categorías presenten signos positivos, ya que implicaría que cuantos más transbordos son necesarios mayor probabilidad de elegir esa alternativa. Además, parece razonable que la categoría “2 transbordos” penalice en mayor medida a la utilidad que la alternativa “1 transbordo”.

- La igualdad relativa de condiciones en las alternativas de transporte público. Teniendo en cuenta las cuestiones anteriores, también se valora positivamente que las funciones de utilidad de las alternativas de transporte público presenten coeficientes genéricos, en la medida de lo posible. Esta es una consecuencia directa de la metodología empleada para analizar la existencia del *rail factor*, es decir, a través de factores que influyen en la imagen percibida del transporte público, mediante el atributo tipo de transporte público y los valores de las ASC.

Cabe destacar que en la mayor parte de las localizaciones estudiadas el modelo 13 es el que mejor se adapta a estas 3 cuestiones. Es por ese motivo por lo que se ha considerado como el modelo de referencia en todas las localizaciones. Puede adelantarse que esto es válido para las modelos del experimento 1, mientras que para el experimento 2 el modelo de referencia será el modelo 10 (estos modelos son equivalentes, tal y como puede verse en el apartado 5.3.2.4.).

A partir del modelo de referencia se desarrollan una nueva serie de modelos, que se caracterizan por eliminar la restricción de un único coeficiente genérico para las alternativas de transporte público. Se obtienen así modelos que permiten analizar el efecto independiente de cada uno de los coeficientes (atributos o categorías) sobre las ASC. En el caso más general (experimento 1/escenario B) se obtienen 7 modelos que se denominan modelos por PARES, con las siguientes restricciones:

- MNL13-t: Restricciones de MNL13 excepto tiempo específico para las alternativas del transporte público ($\beta_{t,2} \neq \beta_{t,3}$).
- MNL13-c: Restricciones de MNL13 excepto coste específico para las alternativas del transporte público ($\beta_{c,2} \neq \beta_{c,3}$).
- MNL13-f: Restricciones de MNL13 excepto intervalo entre vehículos específico para las alternativas del transporte público ($\beta_{f,2} \neq \beta_{f,3}$).
- MNL13-nt1: Restricciones de MNL13 excepto la categoría “1 transbordo” específica para las alternativas del transporte público ($\beta_{nt1,2} \neq \beta_{nt1,3}$).
- MNL13-nt2: Restricciones de MNL13 excepto la categoría “2 transbordos” específica para las alternativas del transporte público ($\beta_{nt2,2} \neq \beta_{nt2,3}$).
- MNL13-ptB: Restricciones de MNL13 excepto la “categoría B” del tipo de transporte público específica para las alternativas del transporte público ($\beta_{ptB,2} \neq \beta_{ptB,3}$).

- MNL13-ptA: Restricciones de MNL13 excepto la “categoría A” del tipo de transporte público específica para las alternativas del transporte público ($\beta_{ptA,2} \neq \beta_{ptA,3}$).

Mediante un test de igualdad de parámetros (test-t) puede comprobarse si los parámetros específicos por pares son significativamente distintos entre sí, o si por el contrario son candidatos a ser considerados como genéricos.

5.3.2.3. Experiencia previa con la red de transporte público PR y elección de modo en el viaje PR

A continuación se presentan los modelos que se estimaron con el objetivo de analizar si algunas de las variables recopiladas mediante la sección de datos PR de las encuestas influyen en la elección de transporte público. Se consideró interesante incluir en la utilidad de las alternativas los efectos de la experiencia previa del usuario con la red de transporte público PR y de la elección de modo para el desplazamiento PR, para comprobar si su influencia en la elección de modo es significativa, tal y como sugieren algunas publicaciones consultadas (véase el capítulo 2).

Los niveles o categorías que se consideran en la modelización para estos atributos PR son los siguientes (para más información véase el capítulo 4):

- Modo elegido para el desplazamiento PR:
 - No motorizado (a pie y bicicleta)
 - Privado (coche y motocicleta)
 - Público sobre neumáticos (autobús y taxi)
 - Público ferroviario (tranvía/metro ligero y ferrocarril)
- Experiencia previa con la red de transporte público PR:
 - Usuario habitual de transporte público (“habitualmente”)
 - Usuario no habitual de transporte público (“ocasionalmente” o “nunca”)

De nuevo se parte de la especificación de referencia correspondiente, analizando todas las combinaciones de estos atributos en una serie de modelizaciones. Es decir, se tienen en cuenta los atributos de forma independiente y conjunta, además de considerar los coeficientes asociados a los mismos como genéricos y específicos. En total se obtienen 6 nuevos modelos que presentan las siguientes especificaciones:

- MNL13-chS: Basado en el modelo de referencia MNL13, se incorporan las categorías del atributo elección de modo PR de forma específica (*choice Specific*). Se toma la categoría “no motorizado” como la de referencia.

$$\begin{aligned}
 V_1 &= V_1(MNL13) \\
 V_2 &= V_2(MNL13) + \beta_{ch2,2} \cdot ch2_2 + \beta_{ch3,2} \cdot ch3_2 + \beta_{ch4,2} \cdot ch4_2 \\
 V_3 &= V_3(MNL13) + \beta_{ch2,3} \cdot ch2_3 + \beta_{ch3,3} \cdot ch3_3 + \beta_{ch4,3} \cdot ch4_3
 \end{aligned}
 \tag{5.32}$$

siendo:

$j=1,2,3$ las alternativas disponibles (coche, autobús y modo ferroviario, respectivamente)

V_j la utilidad sistemática o representativa de la alternativa j

$V_j(MNL13)$ la utilidad sistemática o representativa de la alternativa j para el modelo de referencia MNL13

$\beta_{ch2,j}$ el coeficiente correspondiente a la categoría “transporte privado en desplazamiento PR” de la alternativa j

$ch2_j$ el valor de codificación tipo *effects* correspondiente a la categoría “transporte privado en desplazamiento PR” de la alternativa j

$\beta_{ch3,j}$ el coeficiente correspondiente a la “categoría transporte público sobre neumáticos en desplazamiento PR” de la alternativa j

$ch3_j$ el valor de codificación tipo *effects* correspondiente a la categoría “transporte público sobre neumáticos en desplazamiento PR” de la alternativa j

$\beta_{ch4,j}$ el coeficiente correspondiente a la categoría “transporte público ferroviario en desplazamiento PR” de la alternativa j

$ch4_j$ el valor de codificación tipo *effects* correspondiente a la “categoría transporte público ferroviario” en desplazamiento PR de la alternativa j

- MNL13-chG: Basado en el modelo anterior, en este caso se consideran los coeficientes de las categorías del atributo elección de modo PR de forma genérica (*choice Generic*) ($\beta_{ch2,2} = \beta_{ch2,3} = \beta_{ch2}$; $\beta_{ch3,2} = \beta_{ch3,3} = \beta_{ch3}$; $\beta_{ch4,2} = \beta_{ch4,3} = \beta_{ch4}$).
- MNL13-uS: Basado en el modelo de referencia MNL13, se incorpora el atributo correspondiente a la experiencia previa con la red de transporte público PR. Se incluye en la especificación la categoría “usuario habitual de transporte público” de forma específica (*user Specific*), mientras que se toma la categoría “usuario no habitual” como la de referencia.

$$\begin{aligned}
 V_1 &= V_1(MNL13) \\
 V_2 &= V_2(MNL13) + \beta_{u,2} \cdot u_2 \\
 V_3 &= V_3(MNL13) + \beta_{u,3} \cdot u_3
 \end{aligned}
 \tag{5.33}$$

siendo:

$j=1,2,3$ las alternativas disponibles (coche, autobús y modo ferroviario, respectivamente)

V_j la utilidad sistemática o representativa de la alternativa j

$V_j(MNL13)$ la utilidad sistemática o representativa de la alternativa j para el modelo de referencia MNL13

$\beta_{u,j}$ el coeficiente correspondiente a la categoría “usuario habitual de transporte público PR” de la alternativa j

u_j el valor de codificación tipo *effects* correspondiente a la categoría “usuario habitual de transporte público PR” de la alternativa j

- MNL13-uG: Basado en el modelo anterior, en este caso se consideran los coeficientes de la categoría del atributo experiencia previa con la red de transporte público PR de forma genérica (*user Generic*) ($\beta_{u,2} = \beta_{u,3} = \beta_u$).
- MNL13-chS-uS: Combinación de los modelos MNL13-chS y MNL13-uS. Por tanto se consideran simultáneamente los atributos modo de transporte PR y experiencia previa con la red de transporte público PR de forma específica.
- MNL13-chG-uG: Combinación de los modelos MNL13-chG y MNL13-uG. Por tanto se consideran simultáneamente los atributos modo de transporte PR y experiencia previa con la red de transporte público PR de forma genérica.

5.3.2.4. Implicaciones debidas a considerar diferentes experimentos y escenarios de elección

El hecho de analizar de forma independiente 2 experimentos, cada uno de ellos con 2 escenarios distintos, implica que pueden analizarse 4 subconjuntos de observaciones o combinaciones para cada localización. Estas combinaciones (o líneas de actuación), de menor a mayor complejidad en cuanto al número de modelos estimados, son las siguientes: experimento 2 / escenario A, experimento 2 / escenario B, experimento 1 / escenario A, y finalmente, experimento 1 / escenario B.

Hasta el momento las especificaciones mostradas se refieren al último caso, por ser el más general. Debido a las diferencias existentes en cada uno de estos subconjuntos,

el número de modelos basados en la especificación de referencia que pueden obtenerse no es el mismo, y las especificaciones anteriormente mostradas pueden sufrir pequeños cambios o adaptaciones. Así, las implicaciones de considerar un escenario y/o experimento diferente son las siguientes:

- ESCENARIO A

Si se consideran solamente las 2 alternativas de transporte público como disponible se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Se toma como alternativa de referencia el autobús ($ASC_2 = 0$)
- Puesto que los modelos trabajan en diferencias, cuando se consideren variables categóricas de forma genérica es necesario fijar una alternativa completa de referencia además de una categoría de referencia. En esos casos, y exceptuando los modelos denominados como por PARES, las especificaciones que se diferenciaban al considerar específicas o genéricas a estas variables categóricas en el escenario B, son idénticas para el escenario A.
- También se reduce el número de especificaciones debido a que los términos “coeficientes genéricos para las alternativas de transporte público” y “coeficientes genéricos para todas las alternativas disponibles” son equivalentes.

- EXPERIMENTO 2

Al no considerar el atributo tipo de transporte público como influyente en la elección, también se reduce el número de estimaciones. Por ejemplo, todas aquellas especificaciones en las que la única diferencia era el tratamiento como genéricas o específicas de las categorías pertenecientes a este atributo, ahora son iguales y por lo tanto equivalentes.

En la tabla siguiente se muestran los 91 modelos MNL considerados, teniendo en cuenta la pertenencia a cada una de estos subconjuntos de observaciones.

Especificación	Experimento 1		Experimento 2	
	Escenario B	Escenario A	Escenario B	Escenario A
MNL1	SI	SI	SI	SI
MNL2	SI	SI	SI	SI
MNL3	SI	SI	NO	NO
MNL4	SI	SI	NO	NO
MNL5	SI	SI	NO	NO
MNL6	SI	SI	SI	SI
MNL7	SI	SI	NO	NO
MNL8	SI	SI	NO	NO
MNL9	SI	SI	NO	NO
MNL10	SI	SI	SI*	SI*
MNL11	SI	SI	NO	NO
MNL12	SI	SI	NO	NO
MNL13	SI*	SI*	NO	NO
MNL14	SI	NO	SI	NO
MNL15	SI	NO	NO	NO
MNL16	SI	NO	NO	NO
MNL17	SI	NO	NO	NO
MNL18	SI	NO	SI	NO
MNL19	SI	NO	NO	NO
MNL20	SI	NO	NO	NO
MNL21	SI	NO	NO	NO
MNL22	SI	NO	SI	NO
MNL23	SI	NO	NO	NO
MNL24	SI	NO	NO	NO
MNL25	SI	NO	NO	NO
MNL(ref)-t	SI	SI	SI	SI
MNL(ref)-c	SI	SI	SI	SI
MNL(ref)-f	SI	SI	SI	SI
MNL(ref)-nt1	SI	SI	SI	SI
MNL(ref)-nt2	SI	SI	SI	SI
MNL(ref)-ptB	SI	SI	NO	NO
MNL(ref)-ptA	SI	SI	NO	NO
MNL(ref)-ch-S	SI	SI	SI	SI
MNL(ref)-ch-G	SI	NO	SI	NO
MNL(ref)-uS	SI	SI	SI	SI
MNL(ref)-uG	SI	NO	SI	NO
MNL(ref)-chS-uS	SI	SI	SI	SI
MNL(ref)-chG-uG	SI	NO	SI	NO

Tabla 5.1. Especificaciones de modelos MNL en función del experimento y escenario considerados

* Especificación de referencia en cada combinación experimento/escenario

5.3.2.5. Herramienta software empleada en la modelización

En todas las estimaciones de modelos de elección modal realizadas en esta tesis se ha empleado el software BIOGEME (Bierlaire, 2003), en su versión 1.8., cuyo nombre se debe al conglomerado de siglas de *Bierlaire Optimization toolbox for GEv Model*

Estimation. Tal y como su propio nombre indica se trata de un software que se emplea para la estimación de modelos de valor extremo generalizado.

Para las estimaciones realizadas con modelos de tipo MNL se ha empleado el algoritmo de optimización BIO (como se recomienda en el manual de usuario). Este algoritmo se diseñó para problemas con restricciones simples y empleando el método truncado de los gradientes conjugados, resuelve un sub-problema del tipo *Trust-Region*, limitando por defecto a 1 000 el número de iteraciones permitidas hasta alcanzar convergencia.

5.3.3. Especificación de modelos logit anidado

Debido a la propia naturaleza del fenómeno estudiado y del ejercicio de elección planteado, es teóricamente previsible la presencia de correlación entre las alternativas de transporte público, de forma que los individuos consideran estas alternativas como similares y los términos de error de la utilidad están correlacionados. Para analizar la presencia de la correlación entre estas alternativas y su repercusión en la capacidad explicativa de los modelos se ha optado, en primer lugar, por estimar modelos de tipo logit anidado (NL).

La mayor parte de los aspectos considerados en la estimación MNL son idénticos a los considerados en este caso, sin embargo existen una serie de diferencias importantes que se describen a continuación:

- En primer lugar, no es posible realizar estimaciones con esta tipología de modelo para observaciones del escenario A, ya que solamente se consideran como modos disponibles a las 2 alternativas del transporte público. Teniendo en cuenta esta restricción el número de estimaciones que es posible realizar mediante modelos NL es de 56 por localización.
- Dado que se genera un nido para las alternativas autobús y ferroviaria, siguiendo una estructura idéntica a la mostrada en la figura 5.1., es necesario estimar 1 parámetro extra para ese nido (λ_{nestpt}).
- Se toma la decisión de emplear la normalización superior correspondiente a modelos NL, ya que permite realizar una comparación directa entre los coeficientes obtenidos de esta forma, con los coeficientes obtenidos mediante modelos MNL análogos. Por lo tanto, el parámetro estimado a partir de BIOGEME es λ (el factor de escala del nido j). Dado que se normaliza μ (factor

de escala del nivel superior) con un valor igual a 1, es necesario que el valor de λ sea mayor que 1 para cumplir la condición estructural de modelos NL (expresión (5.18)).

5.3.4. Especificación de modelos logit mixto

5.3.4.1. Introducción

La estimación de modelos ML en esta investigación está motivada fundamentalmente por las 3 razones siguientes:

- Datos de panel: en primer lugar, y dado que se emplean datos de encuestas PD con múltiples situaciones de elección por individuo, es razonable pensar que puede existir correlación entre todas las elecciones realizadas por un único encuestado (véase apartado 5.2.4.7.). Mediante el empleo de datos de panel en la estimación de modelos ML es posible considerar la existencia de esta correlación entre situaciones de elección, ya que en las modelizaciones MNL y NL no se ha tenido en cuenta. Otra ventaja de la utilización de datos de panel es que reduce considerablemente el efecto del tamaño de muestra en la identificación empírica, consiguiéndose buenos resultados a la hora de representar heterogeneidad aleatoria con un número reducido de encuestados (Cherchi & Ortúzar, 2008).
- Correlación entre alternativas de transporte público: tal y como se menciona en el apartado anterior, es previsible que también exista correlación entre las alternativas de transporte público (los individuos consideran estas alternativas como similares entre sí frente a las diferencias existentes con la alternativa coche). Esta estructura de error es tenida en cuenta en las modelizaciones NL, aunque en ese caso no se consideraron las correlaciones entre situaciones de elección. Mediante la estimación de modelos ML es posible introducir en la modelización la correlación entre alternativas de transporte público (en su especificación como componentes de error) y la correlación entre observaciones (datos de panel), de forma simultánea.
- Variaciones en los gustos: uno de los objetivos en el análisis comparativo de la existencia del *rail factor* en diferentes localizaciones, es el de valorar si la posible preferencia por uno u otro modo de transporte público es común en cada población estudiada, o si por el contrario existen variaciones significativas entre las preferencias de los individuos. Por este motivo se realizan

estimaciones de modelos ML en su especificación como coeficientes aleatorios (RC), con los que es posible considerar el efecto de estas posibles variaciones en los gustos de los encuestados.

Independientemente de la especificación empleada en las estimaciones de modelos ML (véanse apartados 5.2.4.3. y 5.2.4.4.), todos los modelos ML presentados en esta tesis comparten una serie de características comunes en su estimación (además del ya citado empleo de datos de panel):

- **Distribución normal:** Se emplea este tipo de distribución para los coeficientes aleatorios en todos los casos. Las colas que presenta esta distribución suponen la probabilidad no nula de valores en los parámetros con signos contrarios a los previstos para parte de la población. Puede analizarse si realmente existen en la población o si por el contrario son consecuencia de imponer esta distribución (ver discusión en Hess, Bierlaire & Polak, 2005). Además de ser una de las distribuciones más empleadas en modelos ML desde sus inicios (Orro 2005, pp. 79-83), al tratarse de una distribución simétrica facilita la interpretación de los resultados en lo que a media y varianza se refiere. Cabe destacar que el empleo de distribuciones de otras tipologías en modelos ML es una línea de investigación que pretende explorarse en un futuro, tal y como se indica en el capítulo 7.
- En la simulación de todos los modelos se emplean 1 000 extracciones aleatorias del tipo series Halton. En una fase inicial de la modelización se realizaron diferentes pruebas con modelos en los que se empleaban 10, 50, 100, 200, 300, 500 y 1 000 extracciones de este tipo, comprobándose que a partir de las 200 extracciones los modelos presentaban valores estables de los coeficientes (véase el capítulo 3). Se ha tomado la decisión de emplear 1 000 extracciones puesto que un número demasiado bajo puede dar como resultado que cualquier modelo “parezca” identificable, encubriéndose posibles problemas asociados a la identificación (Cherchi & Ortúzar, 2008).
- El algoritmo de optimización empleado es DONLP2, desarrollado por Peter Spellucci (1993).

5.3.4.2. Modelos con especificación como componentes de error (EC)

Se consideran las mismas especificaciones de las utilidades de las alternativas que en el caso de los modelos MNL, es decir, se realizan modelos basados en la especificación base, modelos basados en la especificación de referencia considerando

coeficientes específicos por pares, y las versiones respectivas en las que se tienen en cuenta la experiencia previa con la red de transporte público PR y la elección de modo PR.

Solamente se estiman este tipo de modelos para las observaciones del escenario B, ya que además de la correlación entre observaciones de un mismo individuo, el objetivo principal es el de reflejar una posible correlación entre alternativas de transporte público. Por lo tanto, la principal diferencia con las especificaciones MNL es la introducción de un término aleatorio que sigue una distribución normal, con media cero y desviación típica σ , común para las alternativas autobús y ferroviaria involucradas. Merece la pena destacar que no se trata de un modelo equivalente al NL, puesto que en este caso no presenta homoscedasticidad en la matriz de covarianza (Munizaga & Álvarez Daziano, 2000).

A modo de ejemplo se muestra la especificación de utilidad para el modelo de referencia correspondiente al experimento 2 / escenario B:

$$\begin{aligned} U_1 &= \beta_{t,1} \cdot t_1 + \beta_{c,1} \cdot c_1 + \varepsilon_1 \\ U_2 &= ASC_2 + \beta_{t,pt} \cdot t_2 + \beta_{c,pt} \cdot c_2 + \beta_f \cdot f_2 + \beta_{nt1} \cdot nt1_2 + \beta_{nt2} \cdot nt2_2 + EC_{pt}(\sigma_{pt}) + \varepsilon_2 \\ U_3 &= ASC_3 + \beta_{t,pt} \cdot t_3 + \beta_{c,pt} \cdot c_3 + \beta_f \cdot f_3 + \beta_{nt1} \cdot nt1_3 + \beta_{nt2} \cdot nt2_3 + EC_{pt}(\sigma_{pt}) + \varepsilon_3 \end{aligned} \quad (5.34)$$

siendo:

$j=1,2,3$, pt las alternativas o grupo de alternativas disponibles (coche, autobús, modo ferroviario y alternativas de transporte público, respectivamente)

U_j la utilidad de la alternativa j

ASC_j la constante específica de la alternativa j

$\beta_{t,j}$ el coeficiente correspondiente al tiempo de la alternativa o grupo de alternativas j

t_j el valor del tiempo para la alternativa j

$\beta_{c,j}$ el coeficiente correspondiente al coste de la alternativa o grupo de alternativas j

c_j el valor del coste para la alternativa j

β_f el coeficiente genérico correspondiente al intervalo entre vehículos

f_j el valor del intervalo entre vehículos para la alternativa j

β_{nt1} el coeficiente genérico correspondiente a la categoría "1 transbordo" para el atributo número de transbordos

$nt1_j$ el valor de codificación tipo *effects* correspondiente a la categoría “1 transbordo” para el atributo número de transbordos de la alternativa j

β_{nt2} el coeficiente genérico correspondiente a la categoría “2 transbordos” para el atributo número de transbordos

$nt2_j$ el valor de codificación tipo *effects* correspondiente a la categoría “2 transbordos” para el atributo número de transbordos de la alternativa j

$EC_{pt}(\sigma_{pt})$ un término aleatorio asociado a las alternativas de transporte público que distribuye normal con media cero y desviación σ_{pt} .

ε_j el término de error gumbel iid asociado a la alternativa j .

Los modelos ML obtenidos mediante su especificación como componentes de error se denominan de forma similar a los modelos MNL correspondientes, con la salvedad de que las sigas MNL son sustituidas por las siglas ML, y que además se añade entre paréntesis el término EC (*Error Components*). Así, la especificación de referencia mostrada en la expresión (5.34) proveniente de la especificación MNL10 para el experimento 2 / escenarios B, se denominará como ML10(EC). Lógicamente, el número de modelos ML de componentes de error obtenidos para cada localización es idéntico al número de modelos MNL para el escenario B, es decir, 56 modelos.

5.3.4.3. Modelos con especificación como coeficientes aleatorios (RC)

El objetivo perseguido al estimar modelos especificados de esta forma es el considerar las posibles variaciones en los gustos de los individuos para alguno de los atributos influyentes. También se estiman modelos en los que se permite una variación aleatoria de las ASC para el escenario B.

Por lo tanto puede decirse que los modelos estimados mediante esta tipología de especificación se dividen en 2 grandes bloques: los que son obtenidos considerando variaciones aleatorias solamente en las ASC, y aquellos que se derivan permitiendo variaciones aleatorias en los atributos influyentes (ya sean atributos del ejercicio de elección PD o variables pertenecientes a la sección PR de la encuesta).

ML con variaciones en las ASC de las alternativas

En este caso se obtiene el mismo número de modelos independientemente del experimento considerado. En primer lugar se plantea un modelo que, basándose en el de referencia, incorpora desviaciones asociadas a todas las alternativas. Este modelo, que para el caso del experimento 1 se denomina ML13-ASCid(RC), sirve para localizar

la desviación asociada a la ASC que presenta un valor menor. Posteriormente se normaliza la misma con un valor igual a cero para lograr un modelo debidamente identificado con el que estimar las otras 2 desviaciones existentes.

También se plantean modelos en los que se normaliza cada una de las desviaciones asociadas a las ASC de forma independiente. Solamente uno de ellos estará identificado, por lo que los 2 restantes no aportan información adicional aunque se emplean como comprobación de que el modelo ML13-ASC_{id}(RC) se estimó correctamente. Estas nuevas especificaciones se denominan ML13-ASC_j(RC) (siendo $j=1,2,3$ las alternativas disponibles), donde j representa la alternativa a la que se asocia la desviación de la ASC tomada como referencia.

También se estima un modelo en el que solamente se permite una variación aleatoria asociada a las ASC del coche. Este modelo, denominado ML13-ASC_{car}(RC), debe ofrecer valores equivalentes a los obtenidos en el modelo ML13(EC), y por lo tanto se realiza también a modo de comprobación.

Por último, y a partir de los modelos ML13-ASC_j(RC) de referencia y ML13-ASC_{car}(RC), se realizan estimaciones en las que se incluyen el tipo de transporte empleado en el desplazamiento PR y la experiencia previa con la red de transporte público PR, ya sea de forma individual o conjunta (de forma análoga a como se hizo en el apartado MNL). Se obtienen de este modo los modelos ML13-ASC_j-chS(RC), ML13-ASC_j-chG(RC), ML13-ASC_{car}-chS(RC), ML13-ASC_{car}-chG(RC), ML13-ASC_j-uS(RC), ML13-ASC_j-uG(RC), ML13-ASC_{car}-uS(RC), ML13-ASC_{car}-uG(RC), ML13-ASC_j-chS-uS(RC), ML13-ASC_j-chG-uG(RC), ML13-ASC_{car}-chS-uS(RC) y ML13-ASC_{car}-chG-uG(RC).

Mediante estas consideraciones se obtienen 58 especificaciones por localización, aunque en honor a la verdad solamente 14 de ellas aportan información nueva. El resto o bien son equivalentes a otros modelos obtenidos previamente, o bien presentan problemas de identificación, pero debido a la sistematización del procedimiento seguido en la tesis se consideran necesarios para contrastar que el proceso de búsqueda es correcto.

ML con variaciones en las variables influyentes

Este tipo de modelos pueden dividirse a su vez en 3 sub-grupos en función de las variables en las que se permite la desviación aleatoria. En todos los casos se parte de

la especificación de referencia, sin embargo, cuando se estime una desviación asociada a un atributo de forma específica, la media o coeficiente asociado también debe considerarse como específica. Se estudia de forma independiente la influencia de cada uno de los atributos, obteniéndose de este modo los siguientes modelos:

- Atributos pertenecientes al transporte público:

Intervalo entre vehículos, número de transbordos y tipo de transporte público, considerando variación aleatoria de forma individual y conjunta. Por lo tanto se obtienen los modelos $ML13-f_j(RC)$ (siendo $j=2,3$ las alternativas de transporte público) en los que se estima una desviación asociada solamente al intervalo entre vehículos de autobús o del modo ferroviario y $ML13-f(RC)$, donde la desviación se asocia a ambas alternativas. Del mismo modo se obtienen los modelos $ML13-nt1_j(RC)$, $ML13-nt1(RC)$, $ML13-nt2_j(RC)$, $ML13-nt2(RC)$, $ML13-ptB_j(RC)$, $ML13-ptB(RC)$, $ML13-ptA_j(RC)$ y $ML13-ptA(RC)$.

- Atributos pertenecientes a las 3 alternativas:

En los modelos obtenidos con variaciones en estos atributos, se debe tener en cuenta que los atributos se presentan en una alternativa adicional, y también las características concretas de estas variables.

- Coste: un modelo con una desviación en el coste de cada una de las alternativas de forma específica ($ML13-c_j(RC)$, con $j=1,2,3$ como las 3 alternativas disponibles), y un modelo adicional en el que esta desviación se considera genérica para el transporte público ($ML13-c_{pt}(RC)$).
- Tiempo: Además de modelos análogos a los anteriores ($ML13-t_j(RC)$ y $ML13-t_{pt}(RC)$), se añaden 3 nuevos modelos: un primero en el que se consideran 3 desviaciones estimadas de forma específica para las 3 alternativas ($ML13-t_{123}(RC)$); un segundo en el que se especifican 2 desviaciones de forma específica para las alternativas de transporte público ($ML13-t_{23}(RC)$); y un tercero con 2 desviaciones, una que afecta al coche y otra que afecta de forma conjunta a las alternativas de transporte público ($ML13-t_{1,tp}(RC)$).

- Atributos obtenidos en la sección PR de la encuesta:

Se ha estudiado de forma independiente tanto la posible variación de la influencia del grado del conocimiento de la red de transporte público PR como de la elección de modo PR. En este caso se tienen 9 modelos para las especificaciones con el tipo de transporte considerado en el desplazamiento PR como específico, denominados $ML13-chi_jS(RC)$ (donde $i = 2,3,4$ alude al tipo de transporte PR y $j = 2, 3, 23$ alude a las alternativas autobús, modo

ferroviario y ambas de forma específica). También se obtienen 4 modelos para las especificaciones con el tipo de transporte PR considerado como genérico, denominados $ML13\text{-}chi_iG(RC)$ (donde $i = 2,3,4,234$ indica el tipo de transporte PR considerado y $j = pt$ alude a las 2 alternativas de transporte público de forma genérica). Por otro lado, se obtienen 4 modelos considerando si el encuestado es usuario habitual de la red de transporte público de forma específica ($ML13\text{-}u_j\text{-}S(RC)$, donde $j = 2, 3, 23$ tiene significado análogo al anterior) y genérica ($ML13\text{-}u_{pt}\text{-}G(RC)$).

Teniendo en cuenta todas las especificaciones $ML(RC)$ se tienen un total de 184 modelos (de los cuales 140 aportan información válida y no obtenida previamente).

Tal y como se ha mencionado anteriormente, las especificaciones de la utilidad de las alternativas correspondientes a todos los modelos estimados en esta tesis (para cada una de las tipologías de DCM consideradas, es decir, MNL, NL y ML), pueden verse en el anexo A15.

5.4. Resultados del procedimiento de estimación

5.4.1. Test estadísticos considerados

Tal y como se ha comentado anteriormente, a la hora de determinar cuál es el modelo o modelos que presentan una especificación de la utilidad de las alternativas más adecuada en la representación del fenómeno estudiado se han tenido en cuenta 3 aspectos. En primer lugar que los resultados obtenidos presentasen cierta consistencia con el comportamiento teórico de los individuos (es decir, que los signos y magnitudes relativas de los coeficientes sean razonables. En segundo lugar, que se adapten las especificaciones al fenómeno *rail factor*, es decir, buscando la igualdad de condiciones entre alternativas de transporte público en la medida de lo posible. Por último, se analizan los valores obtenidos para diferentes test estadísticos que habitualmente se emplean en el ámbito de la modelización de transporte, además de otras consideraciones más generales como son el valor global de la log-verosimilitud o la bondad de ajuste.

Los test estadísticos en los que se basan las decisiones relacionadas con la búsqueda de la especificación más adecuada, para analizar la posible existencia del *rail factor* en la presente tesis, son 3:

- Test-t para analizar si los parámetros obtenidos en la modelización son significativamente diferentes entre sí. Para muestras suficientemente grandes sigue aproximadamente una distribución N (0,1) (Ortúzar & Willumsen, 2011, p. 281):

$$t^* = \frac{\beta_i - \beta_j}{\sqrt{(\sigma_i^2 + \sigma_j^2 + 2\rho\sigma_i\sigma_j)}} \quad (5.35)$$

siendo:

β_i el coeficiente estimado correspondiente al atributo X_i

β_j el coeficiente estimado correspondiente al atributo X_j

σ_i el error estándar del estimador del parámetro β_i

σ_j el error estándar del estimador del parámetro β_j

ρ el coeficiente de correlación de los parámetros considerados

También se emplea este test para analizar si los parámetros estimados en la modelización son significativamente diferentes de 1 (valores del parámetro de nido en modelos NL) o de cero (coeficientes asociados a variables explicativas). Estos test pueden obtenerse a partir de las expresiones (5.36) y (5.37), respectivamente.:

$$t(1) = \frac{\beta_k - 1}{\sigma_k} \quad (5.36)$$

$$t(0) = \frac{\beta_k}{\sigma_k} \quad (5.37)$$

siendo:

β_k el estimador máximo verosímil del parámetro β

σ_k es el error estándar asociado al estimador β_k

Para muestras suficientemente grandes si el test t está por debajo del valor de la distribución N(0,1) correspondiente al punto que tiene un probabilidad P% de

no ser superado, puede rechazarse la correspondiente hipótesis nula (igualdad de parámetros o significatividad, según el caso) con ese P% de probabilidad de no rechazar una hipótesis errónea.

- Test de razón de verosimilitud: permite estudiar la capacidad explicativa que aporta un modelo más general sobre un modelo con ciertas restricciones lineales en la especificación de la utilidad.

$$LR = -2 \left[l^* \hat{\beta}_r - l^* \hat{\beta} \right] \sim \chi_r^2 \quad (5.38)$$

donde:

r es el número de restricciones lineales necesarias en el modelo para obtener el restringido

$l^*(\hat{\beta})$ es la log-verosimilitud del modelo general para parámetros $\hat{\beta}$

$l^*(\hat{\beta}_r)$ es la log-verosimilitud del modelo restringido con parámetros $\hat{\beta}_r$

Si el valor del test es inferior al de la distribución chi cuadrado de r grados de libertad para una determinada probabilidad, no es posible rechazar la hipótesis de que ambos modelos tengan la misma capacidad explicativa. La hipótesis nula es en este caso que el modelo restringido es el correcto, ya que el general no aporta capacidad explicativa adicional que justifique la introducción de los parámetros adicionales en la modelización.

- Test de hipótesis “no jerarquizadas”: permite realizar comparaciones entre modelos cuyas especificaciones no están relacionadas mediante una relación de inclusión. Por lo tanto, en este caso no existe un modelo restringido y otro modelo general que contiene al anterior.

La comprobación que debe realizarse cuando se considera este test viene dada por la siguiente expresión (Ben-Akiva & Lerman, 1985, pp. 171-174):

$$\text{Prob}(\rho_{adj,2}^2 - \rho_{adj,1}^2 > z) = -\sqrt{2 \cdot N \cdot z \cdot \ln(J) + (K_2 - K_1)} \quad (5.39)$$

siendo:

$i=1,2$ los modelos estimados que quieren compararse

$\rho_{adj,i}^2$ el índice rho cuadrado ajustado en el modelo i

N el número de observaciones consideradas

J el número de alternativas disponibles

K_i el número de parámetros estimados en el modelo i

Esta expresión mide la probabilidad de que la bondad de ajuste del modelo 2 sea mayor que la del modelo 1 para algún z , dado que el modelo 1 es el verdadero. Por lo tanto si se selecciona el modelo con mayor valor de rho cuadrado ajustado, esto equivale a la probabilidad de elegir el modelo erróneo sobre la especificación correcta.

El índice rho cuadrado ajustado puede hallarse mediante la siguiente expresión (Ben-Akiva & Lerman, 1985, p. 167):

$$\rho_{adj}^2 = 1 - \frac{l^*(\beta) - K}{l^*(0)} \quad (5.40)$$

siendo:

K es el número de parámetros estimados en el modelo general

$l^*(\beta)$ es la log-verosimilitud del modelo general para parámetros β

$l^*(0)$ es la log-verosimilitud del modelo equiprobable

Cabe destacar que aunque este índice puede considerarse más apropiado que el índice rho cuadrado, puesto que tiene en cuenta el número de parámetros estimados, también presenta el inconveniente de que su valor varía con la proporción de individuos que elige cada alternativa. Tardiff (1976) propone un valor de rho cuadrado corregido con el que se soluciona este problema, y que por tanto puede compararse directamente en estimaciones de modelos en los que se consideran diferentes muestras (véase discusión en Ortúzar & Willumsen, 2011, pp. 282-283).

5.4.2. Resultados obtenidos en el caso de Nantes

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la estimación de modelos para el caso de Nantes. Esta localización, que ha sido considerada especialmente relevante en lo que a la implantación de SCI se refiere, sirve como ejemplo en el que se muestran las distintas líneas de actuación seguidas en el procedimiento de estimación.

Estas líneas de actuación, que han sido desarrolladas con el objetivo de dar respuesta a las preguntas de investigación mostradas en el primer capítulo de la presente tesis, pueden resumirse en los siguientes puntos:

1. Análisis teórico del *rail factor*: para comenzar se realiza una comparación directa entre las alternativas de transporte público. Se considera el experimento 2 y el escenario A en un intento de realizar un análisis de índole teórica del concepto *rail factor* (es decir, alternativas de transporte público en igualdad de condiciones), donde el efecto del mismo se recoge en las ASC.
2. Influencia de la imagen percibida de los modos de transporte público: partiendo del caso anterior, se pretende identificar el efecto de la introducción de una variable que represente en cierta medida la percepción de la imagen de los modos de transporte por parte de los encuestados, en este caso, el tipo de transporte público. Por lo tanto, se consideran en segundo lugar las observaciones del escenario A correspondientes al experimento 1.
3. Interacción del coche con el transporte público: por último se incluye la alternativa coche como disponible partiendo de los 2 casos anteriores. Con ello se pretende analizar la influencia de la disponibilidad del coche en la elección del transporte público en general, y de cada uno de los modos considerados (autobús y sistema ferroviario) en particular. En este caso se estiman modelos con las observaciones del escenario B, tanto para el experimento 2 (línea tercera) como para el experimento 1 (línea cuarta).

Para completar el procedimiento, en cada una de las líneas de actuación consideradas se estiman modelos en los que se tienen en cuenta las variables categóricas provenientes de la sección PR de la encuesta.

Es conveniente destacar de forma previa a la presentación de resultados algunos aspectos importantes relacionados con las variables cuyos niveles se expresan en categorías. Cuando se emplean variables categóricas, ya sean las citadas variables PR u otras variables influyentes incluidas en el ejercicio PD (como el número de transbordos o el tipo de transporte público), es necesario fijar una categoría como la de referencia. Dado que se emplea codificación tipo *effects*, la contribución de esa variable en la utilidad de la alternativa cuando este toma el nivel de referencia, tiene un valor igual y de sentido contrario a la suma de los coeficientes asociados al resto de niveles de esa variable. Por ejemplo, para el número de transbordos se toma la categoría “ningún transbordo” como referencia, y su aportación a la utilidad es igual a $\beta_{nt0} = -\beta_{nt1} - \beta_{nt2}$. Por lo tanto, β_{nt0} no es un parámetro estimado, sino que se trata de

una construcción realizada para valorar cómo afecta el hecho de no tener que realizar transbordos a la utilidad de las alternativas. Lo mismo sucede para las aportaciones de las categorías de referencia del resto de variables, para las que puede observarse que no presentan valores de los test-t asociados en las tablas correspondientes. Estos coeficientes de las categorías de referencia se enumeran a continuación:

$\beta_{nt0,j}$ parámetro o aportación a la utilidad de la categoría “ningún transbordo” asociada al número de transbordos, para la alternativa j .

$\beta_{ptC,j}$ parámetro o aportación a la utilidad de la categoría “tipo de transporte C” asociada al tipo de transporte público, para la alternativa j .

$\beta_{ch1,j}$ parámetro o aportación a la utilidad de la categoría “transporte no motorizado” asociada a la elección de modo en el desplazamiento PR, para la alternativa j .

$\beta_{nu,j}$ parámetro o aportación a la utilidad de la categoría “no usuario” asociada a la experiencia previa con la red de transporte público PR, para la alternativa j .

Para evitar posibles confusiones también se señalarán estos parámetros en las tablas mediante un asterisco.

Existe otro aspecto a destacar relacionado con la influencia que tiene la categoría de referencia sobre la utilidad de las alternativas. En el caso de estimar una categoría como específica mientras que otra u otras categorías de ese mismo atributo se estiman como genéricas, la categoría de referencia presentará una aportación específica a la utilidad de las alternativas (por su definición y modo de construcción). Un claro ejemplo puede verse en los modelos MNL2, MNL3, MNL4 y MNL5, del experimento 1 y escenario B. En ese caso las categorías del atributo tipo de transporte público se estiman de la siguiente forma:

- MNL2: categorías “B” y “A” como específicas, es decir, tanto $\beta_{ptB,2}$ y $\beta_{ptB,3}$, como $\beta_{ptB,2}$ y $\beta_{ptB,3}$, son distintos entre sí. En este caso $\beta_{ptC,2}$ y $\beta_{ptC,3}$ también son específicos.
- MNL5: categorías “B” y “A” genéricas, es decir, tanto $\beta_{ptB,2}$ y $\beta_{ptB,3}$, como $\beta_{ptB,2}$ y $\beta_{ptB,3}$ son iguales entre sí. En este caso $\beta_{ptC,2}$ y $\beta_{ptC,3}$ también son genéricos ($\beta_{ptC,pt}$).
- MNL3 y MNL4: una de las categorías (“B” o “A”) es tratada como específica, y la otra como genérica. En este caso $\beta_{ptC,2}$ y $\beta_{ptC,3}$ también son específicos, ya que por definición se obtienen valores diferentes en función de la alternativa considerada.

En resumen, si una categoría de un atributo es tratada como específica, se obtendrán distintos valores para la aportación en la utilidad de la categoría de referencia, y por tanto también será calculada como específica (aunque la categoría o categorías restantes del mismo atributo se introduzcan en la modelización como genéricas).

Los resultados obtenidos para todos los modelos estimados en el caso de Nantes se muestran en el anexo A16.

5.4.2.1. Experimento 2 / Escenario A: definición de *rail factor*

MNL

En primer lugar se estiman los modelos derivados de la especificación base (MNL2) con el objetivo de obtener el modelo inicial de referencia.

Puede apreciarse en la tabla siguiente que todos los coeficientes asociados a variables continuas ($\beta_{t,j}$, $\beta_{c,j}$ y $\beta_{f,j}$) presentan signos que se corresponden a priori con lo esperado, es decir, negativos. Esto implica que un incremento en los valores de estos atributos conlleva una reducción de la utilidad representativa, lo que es intuitivamente correcto. Los parámetros asociados a los niveles de la única variable categórica presente en este caso (el número de transbordos, $\beta_{nti,j}$), presentan unos valores con magnitudes relativas teóricamente correctas, es decir, 2 transbordos siempre penalizan más que 1 transbordo, y este a su vez penaliza más que no hacer ninguno. También se aprecia que los valores de la constante específica del modo ferroviario ($ASC3$) son menores que cero (excepto en el modelo MNL2), y por tanto podrían indicar cierta preferencia hacia el autobús. Sin embargo estas ASC no son significativas en ningún modelo ya que los valores del tes-t son inferiores a 1.96, o lo que es lo mismo, no son significativamente diferentes de cero al 95% (al tratarse de un test de 2 colas). Por este motivo no puede concluirse que esta preferencia exista basándose en los valores de las ASC.

Model	MNL1		MNL2		MNL6		MNL10	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient								
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	-3.43	-1.45	0.28	0.32	-0.592	-0.87	-0.105	-0.84
$\beta_{t,2}$	-0.195	-7.31	-0.185	-7.64	-0.189	-7.8		
$\beta_{t,3}$	-0.142	-6.6	-0.164	-8.17	-0.169	-8.33		
$\beta_{t,pt}$							-0.177	-10.3
$\beta_{c,2}$	-0.833	-1.74	-1.34	-2.99				
$\beta_{c,3}$	-1.36	-2.58	-2	-4.4				
$\beta_{c,pt}$					-1.68	-4.19	-1.72	-4.34
$\beta_{f,2}$	-0.28	-2.52						
$\beta_{f,3}$	0.0647	0.56						
β_f			-0.115	-4.76	-0.112	-4.72	-0.109	-4.7
* $\beta_{nt0,2}$	0.904	-						
$\beta_{nt1,2}$	0.426	1.71						
$\beta_{nt2,2}$	-1.33	-4.83						
* $\beta_{nt0,3}$	0.62	-						
$\beta_{nt1,3}$	-0.257	-0.98						
$\beta_{nt2,3}$	-0.363	-1.52						
* β_{nt0}			0.556	-	0.486	-	0.481	-
β_{nt1}			0.138	1.1	0.2	1.68	0.191	1.62
β_{nt2}			-0.694	-5.91	-0.686	-5.89	-0.672	-5.88
K parameters	11		8		7		6	
N observations	530		530		530		530	
Init log-likelihood	-367.368		-367.368		-367.368		-367.368	
Final log-likelihood	-206.488		-210.369		-211.596		-211.866	
Adjusted rho-square	0.408		0.406		0.405		0.407	
Likelihood ratio test:	MNL10/MNL1		MNL10/MNL2		MNL10/MNL6			
-2 (LL(β_r)-LL(β))	10.756		2.994		0.54			
d.f.	5		2		1			
LRT l.v. (95%)	11.07050		5.99146		3.84146			
LR (MNL10-MNLi)	94.36%		77.62%		53.76%			

Tabla 5.2. Modelos MNL a partir de la especificación base: Exp. 2 / Esc. A, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Cabe destacar que el valor de los test de razón de verosimilitud ($-2(LL(\beta_r)-LL(\beta))$) respecto al modelo de referencia es siempre inferior al valor límite para $\alpha=0.05$ (LRT l.v. (95%)), por lo que en estos casos se considera como acertada la hipótesis nula (el modelo restringido es el correcto).

Por todo lo anterior se toma el modelo MNL10 como el de referencia, y por tanto será aquel a partir del cual se introducirán modificaciones en la especificación de las utilidades de las alternativas en distintas líneas de actuación. Además, el hecho de que todos los parámetros sean genéricos ofrece una igualdad entre especificaciones

de la utilidad para las alternativas de transporte público que es consistente con la definición del *rail factor*.

A continuación se estiman los modelos por PARES, en los que se expresa como específico un solo atributo cada vez a partir del modelo de referencia.

Model	MNL10		MNL10-t		MNL10-c		MNL10-f		MNL10-nt1		MNL10-nt2	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	-0.105	-0.84	-0.592	-0.87	0.763	1.33	-2.14	-1.32	-0.102	-0.82	-0.0884	-0.7
$\beta_{t,2}$			-0.189	-7.8								
$\beta_{t,3}$			-0.169	-8.33								
$\beta_{t,pt}$	-0.177	-10.3			-0.172	-10.1	-0.176	-10.2	-0.178	-10.2	-0.168	-9.42
$\beta_{c,2}$					-1.38	-3.1						
$\beta_{c,3}$					-2.04	-4.53						
$\beta_{c,pt}$	-1.72	-4.34	-1.68	-4.19			-1.57	-3.85	-1.69	-4.2	-1.62	-4.13
$\beta_{f,2}$							-0.229	-2.33				
$\beta_{f,3}$							0.0217	0.2				
β_f	-0.109	-4.7	-0.112	-4.72	-0.112	-4.75			-0.108	-4.56	-0.111	-4.85
$\beta_{nt1,2}$									0.255	1.14		
$\beta_{nt2,2}$											-0.907	-4.89
$\beta_{nt1,3}$									0.135	0.65		
$\beta_{nt2,3}$											-0.359	-1.61
* β_{nt0}	0.481	-	0.486	-	0.548	-	0.564	-				
β_{nt1}	0.191	1.62	0.2	1.68	0.133	1.06	0.188	1.58			0.135	1.09
β_{nt2}	-0.672	-5.88	-0.686	-5.89	-0.681	-5.89	-0.752	-5.66	-0.687	-5.58		
Correlation ($\beta_{i2}-\beta_{i3}$)			0.251	-0.73	0.558	1.55	-0.896	-1.26	-0.399	0.33	-0.369	-1.62
K parameters	6		7		7		7		7		7	
N observations	530		530		530		530		530		530	
Init log-likelihood	-367.368		-367.368		-367.368		-367.368		-367.368		-367.368	
Final log-likelihood	-211.866		-211.596		-210.644		-211.076		-211.811		-210.561	
Adjusted rho-square	0.407		0.405		0.408		0.406		0.404		0.408	
Likelihood ratio test:			MNL10/MNL10-t		MNL10/MNL10-c		MNL10/MNL10-f		MNL10/MNL10-nt1		MNL10/MNL10-nt2	
-2 (LL(Br)-LL(β))			0.54		2.444		1.58		0.11		2.61	
d.f.			1		1		1		1		1	
LRT i.v. (95%)			3.84146		3.84146		3.84146		3.84146		3.84146	
LR (MNL10-MNLI)			53.76%		88.20%		79.12%		25.99%		89.38%	

Tabla 5.3. Modelos MNL por pares a partir de la especificación de referencia: Exp. 2 / Esc. A, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

De nuevo todos los parámetros presentan signos y magnitudes relativas teóricamente correctas o esperables. Como excepción destaca el parámetro del intervalo entre vehículos para el autobús ($\beta_{f,3}$), que presenta signo positivo aunque su valor no es significativo. En cuanto a las ASC para el autobús ($ASC3$) no son significativamente distintas de cero en ningún modelo de los de esta tipología, por lo que tampoco puede decirse de forma concluyente que exista preferencia hacia una u otra alternativa de transporte público.

También se aprecia que en ningún caso los resultados del test de igualdad de parámetros (*Correlation $\beta_{i2}-\beta_{i3}$*) muestran de forma significativa (al 95%) que los

coeficientes deban ser candidatos para ser considerados como específicos (valores asociados del test-t inferiores a 1.96).

Para finalizar con la estimación de modelos MNL de esta primera línea de actuación, se tienen en cuenta las variables categóricas de la encuesta PR, es decir, la elección de modo PR y la experiencia previa con la red de transporte público PR. Se considera la introducción de estas variables de forma individual (MNL10-ch y MNL10-u) y conjunta (MNL10-ch-u). A la vista de los resultados de los test de razón de verosimilitud, y siempre hablando del caso de Nantes, la introducción de estas variables en el modelo no aporta una capacidad explicativa que justifique su consideración en la modelización para esta línea de actuación.

Model	MNL10		MNL10-ch		MNL10-u		MNL10-ch-u	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient								
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	-0.105	-0.84	-0.144	-1.11	-0.0566	-0.43	-0.132	-0.86
$\beta_{t,pt}$	-0.177	-10.3	-0.179	-10.4	-0.178	-10.3	-0.179	-10.4
$\beta_{c,pt}$	-1.72	-4.34	-1.77	-4.45	-1.74	-4.39	-1.77	-4.46
β_f	-0.109	-4.7	-0.109	-4.67	-0.108	-4.67	-0.108	-4.66
* β_{nt0}	0.481	-	0.475	-	0.48	-	0.475	-
β_{nt1}	0.191	1.62	0.2	1.69	0.194	1.64	0.2	1.69
β_{nt2}	-0.672	-5.88	-0.675	-5.91	-0.674	-5.9	-0.675	-5.91
* $\beta_{ch1,3}$			0.3213	-			0.2942	-
$\beta_{ch2,3}$			-0.107	-0.47			-0.112	-0.49
$\beta_{ch3,3}$			-0.174	-0.82			-0.158	-0.67
$\beta_{ch4,3}$			-0.0403	-0.16			-0.0242	-0.09
* $\beta_{nu,3}$					0.157	-	0.0286	-
$\beta_{u,3}$					-0.157	-1.21	-0.0286	-0.16
K parameters	6		9		7		10	
N observations	530		530		530		530	
Init log-likelihood	-367.368		-367.368		-367.368		-367.368	
Final log-likelihood	-211.866		-210.35		-211.127		-210.338	
Adjusted rho-square	0.407		0.403		0.406		0.4	
Likelihood ratio test:			MNL10/MNL10-ch		MNL10/MNL10-u		MNL10/MNL10-ch-u	
-2 (LL(β_r)-LL(β))			3.032		1.478		3.056	
d.f.			3		1		4	
LRT I.v. (95%)			7.81473		3.84146		9.48773	
LR (MNL10-MNLI)			61.33%		77.59%		45.15%	

Tabla 5.4. Modelos MNL con variables de la sección PR de la encuesta: Exp. 2 / Esc. A, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Merece la pena destacar que la variable experiencia previa con el transporte público PR es la única que presenta 2 categorías en todo el procedimiento de estimación de modelos. Esto implica que solamente hay un parámetro asociado a una categoría en la especificación de la utilidad de la alternativa correspondiente ($\beta_{u,3}$ en este caso), fijándose la otra categoría como la de referencia (cuya aportación se representa

mediante $\beta_{nu,3}$, que tiene el mismo valor que $\beta_{u,3}$, pero signo opuesto). Si el coeficiente no es significativo estadísticamente hablando no puede concluirse que el atributo no es influyente en la elección de los encuestados, aunque es cierto que esta influencia no puede estimarse, tal y como puede verse en la siguiente reflexión:

An attribute with two levels will have one dummy variable or effects code associated with it. If its coefficient is not statistically significant then it is incorrect to conclude that the attribute is unimportant to respondents: they merely do not perceive a detectable difference in the two level scale values. The impact that any attribute as a whole has to them (defined as the average utility across the L_k levels on the latent, or unobserved, scale) cannot be estimated because one of the levels is not estimated (Flynn, Louviere, Peters & Coast, 2007).

En cuanto al atributo elección de modo para el desplazamiento PR, ninguno de los coeficientes introducidos es significativamente distinto de cero, y aunque las conclusiones que pueden extraerse de los valores y signos de los mismos no son concluyentes, se observa que la elección PR de modos no motorizados ($\beta_{ch1,3}$) parece favorecer a la utilidad del modo ferroviario. Al contrario, la elección de modo PR privado ($\beta_{ch2,3}$) o público sobre neumáticos ($\beta_{ch3,3}$) la penaliza.

Probabilidad de elección en igualdad de condiciones

Para finalizar con este apartado, se calcula la probabilidad de elección de cada una de las alternativas involucradas considerando el caso de igualdad de condiciones. Dado que los modelos trabajan en diferencias, la igualdad de condiciones implica que la única diferencia entre las utilidades sistemáticas de las alternativas es la ASC del modo ferroviario (ASC_3).

$$\left. \begin{aligned} V_{bus-based} &= \sum_j \beta_{jt} \cdot X_t \\ V_{rail-based} &= \left(\sum_j \beta_{jt} \cdot X_t \right) + ASC_{rail-based} \end{aligned} \right\} V_{rail-based} - V_{bus-based} = ASC_{rail-based} \quad (5.41)$$

En el modelo MNL de referencia este cálculo se realiza de forma inmediata, teniendo en cuenta la expresión (5.9). Las probabilidades asociadas se calculan como:

$$\begin{aligned}
 P_{bus-based} &= \frac{e^{V_{bus-based}}}{e^{V_{bus-based}} + e^{V_{rail-based}}} \\
 P_{rail-based} &= \frac{e^{V_{rail-based}}}{e^{V_{bus-based}} + e^{V_{rail-based}}}
 \end{aligned}
 \tag{5.42}$$

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de las probabilidades de elección de las 2 alternativas de transporte público:

	MNL10
ASC ₃	-0.105
P _{bus-based}	52.62%
P _{rail-based}	47.38%

Tabla 5.5. Probabilidad de elección de las alternativas de transporte público suponiendo igualdad de condiciones:
Exp. 2 / Esc. A, Nantes

A la vista de los resultados obtenidos a lo largo del apartado 5.4.2.1. puede afirmarse que no existe un *rail factor*, al menos si se consideran modelos MNL y en lo que a la definición teórica del concepto se refiere (línea de actuación primera). Teniendo en cuenta el modelo de referencia (MNL10) la ASC del modo ferroviario (ASC₃) no es significativamente distinta de cero, por lo que no hay evidencia estadística de que exista ninguna preferencia hacia esta en igualdad de condiciones. También se aprecia que la diferencia en las probabilidades de elección calculadas para los parámetros estimados considerando igualdad de condiciones es muy pequeña.

ML (RC)

Para terminar con esta primera línea de actuación se muestran los resultados de modelos ML en su especificación como coeficientes aleatorios (RC). En la siguiente tabla no se muestran todas las estimaciones realizadas de este tipo, ya que aunque este es el caso más simple, superan la veintena. En su lugar se muestra una selección de las que se consideran más importantes. Tal y como se ha mencionado anteriormente, se estudia la influencia independiente debida a la variabilidad en cada uno de los atributos, considerando la estimación conjunta de alguna de estas heterogeneidades como una línea de investigación futura. Del mismo modo, en todos los modelos tipo ML se tienen en cuenta los efectos de la posible existencia de correlación entre observaciones de un mismo individuo, mediante el tratamiento de las observaciones como datos de panel.

Para el caso de Nantes las estimaciones que mejoran la capacidad explicativa del modelo de referencia (MNL10) de forma significativa son aquellos en los que se estima la heterogeneidad asociada el tiempo de viaje (ML10-tpt(RC)), al coste de viaje (ML10-cpt(RC)) y a la categoría “2 transbordos” (ML10-nt2(RC)). En las anteriores especificaciones se tratan los atributos de forma genérica para las alternativas de transporte público. También se aprecia que el considerar coeficientes aleatorios para las variables elección de modo PR (modelo ML10-chi3(RC)) y para la experiencia previa en la red de transporte público PR (modelo ML10-u3(RC)), no mejora significativamente la capacidad explicativa respecto al modelo MNL10 de referencia.

Model	MNL10		ML10-tpt(RC)		ML10-cpt(RC)		ML10-nt2(RC)		ML10-ch33(RC)		ML10-u3(RC)	
Coefficient	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	-0.105	-0.84	-0.0157	-0.11	-0.125	-0.88	-0.109	-0.81	-0.15	-1.11	-0.0566	-0.43
$\beta_{t,pt}$	-0.177	-10.3	-0.239	-7.02	-0.226	-9.31	-0.207	-9.4	-0.181	-10.1	-0.178	-10.3
$\beta_{c,pt}$	-1.72	-4.34	-2.07	-4.68	-2.44	-3.02	-1.82	-3.73	-1.81	-4.45	-1.74	-4.39
β_f	-0.109	-4.7	-0.132	-4.75	-0.139	-4.57	-0.125	-4.65	-0.11	-4.64	-0.108	-4.67
* β_{nt0}	0.481	-	0.589	-	0.602	-	0.61	-	0.48	-	0.48	-
β_{nt1}	0.191	1.62	0.236	1.67	0.141	0.99	0.223	1.71	0.204	1.71	0.194	1.64
β_{nt2}	-0.672	-5.88	-0.825	-5.81	-0.743	-4.56	-0.833	-4.77	-0.684	-5.9	-0.674	-5.9
* $\beta_{ch1,3}$									0.321	-		
$\beta_{ch2,3}$									-0.102	-0.44		
$\beta_{ch3,3}$									-0.184	-0.81		
$\beta_{ch4,3}$									-0.035	-0.14		
* $\beta_{nu,3}$											0.157	-
$\beta_{u,3}$											0.157	1.21
σ_{tpt}			0.13	4.16								
σ_{cpt}					4.66	4.97						
σ_{nt2pt}							0.799	3.96				
σ_{ch33}									0.392	1.08		
σ_{u3}											0.00178	0.01
Halton draws	-		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	6		7		7		7		10		8	
N observations	530		530		530		530		530		530	
n individuals	530		60		60		60		60		60	
Init log-likelihood	-367.368		-315.495		-365.38		-367.524		-378.355		-388.167	
Final log-likelihood	-211.866		-204.044		-198.719		-205.627		-210.163		-211.127	
Adjusted rho-square	0.407		0.426		0.44		0.421		0.401		0.404	
Likelihood ratio test:			MNL10/ML10-tpt(RC)		MNL10/ML10-cpt(RC)		MNL10/ML10-nt2(RC)		MNL10/ML10-ch33(EC)		MNL10/ML10-u3(EC)	
-2 (LL(β_r)-LL(β))			15.644		26.294		12.478		3.406		1.478	
d.f.			1		1		1		4		2	
LRT l.v. (95%)			3.84146		3.84146		3.84146		9.48773		5.99146	
LR (MNL10-MLi)			99.99%		100.00%		99.96%		50.77%		52.24%	

Tabla 5.6. Selección de modelos ML(RC): Exp. 2 / Esc. A, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Puede apreciarse que el modelo ML10-cpt(RC) es claramente el modelo superior, ya que presenta el mayor valor de la log-verosimilitud (así como el mejor ajuste). Sin embargo se ha decidido tomar el modelo ML10-tpt(RC) como el más adecuado para el análisis posterior, por los siguientes motivos:

- Si se toma el modelo ML10-cpt(RC) la distribución para el valor subjetivo del tiempo (*Subjective Value of Time*, SVT) será desconocida. Este indicador (que se define y tratará en profundidad en el apartado 5.5.3.1) se obtiene como el cociente entre la derivada parcial de la utilidad representativa respecto al tiempo y la derivada parcial de la utilidad representativa respecto al coste, por lo que al contener un término que distribuye normal en el denominador, la distribución del SVT sería desconocida.
- Estos resultados no se dan en todas las localizaciones, más bien sucede lo contrario en la mayor parte de las mismas. Es decir, en casi todas las ciudades estudiadas los modelos ML(RC) obtenidos presentan generalmente mayor log-verosimilitud cuando se permiten variaciones en el atributo tiempo, frente a los modelos en los que se estima la heterogeneidad para el coste (o para la mayoría del resto de parámetros de forma independiente). Por este motivo, con esta medida se facilita la comparación directa entre modelos de las diferentes líneas de actuación en las distintas localizaciones.

Analizando los resultados obtenidos en el modelo ML10-tpt(RC), se aprecia que todos los parámetros presentan signos y magnitudes relativas teóricamente correctas. Además, todos ellos son significativos a excepción del asociado a la categoría “1 transbordo” (β_{nt1}). Respecto a la preferencia hacia el modo ferroviario, no puede concluirse la existencia del *rail factor* ya que la ASC del modo ferroviario ($ASC3$) no es significativamente distinta de cero. Sin embargo sí que puede concluirse que existe una heterogeneidad significativa asociada al tiempo de viaje, es decir, existen diferencias en la forma en la que este atributo es percibido por los distintos encuestados.

5.4.2.2. Experimento 1 / Escenario A: tipo de transporte público (imagen percibida)

A continuación se sigue un procedimiento análogo al del apartado anterior, teniendo en cuenta en esta línea de actuación la influencia del atributo tipo de transporte público en la elección PD. Se recuerda que la consideración de este atributo deriva del grupo focal, de la encuesta piloto y de otras fuentes bibliográficas consultadas. Este puede considerarse un indicador de las principales características que los usuarios asocian con la imagen de un SCI.

Cabe destacar que de aquí en adelante solamente se mostrarán las estimaciones de los modelos más interesantes a efectos del análisis, pudiendo ser consultados todos los modelos para el caso de Nantes en el anexo A16.

MNL

Al introducir en el experimento 1 el atributo tipo de transporte público, que está compuesto por 3 categorías (A, B y C), se obtienen en total 13 modelos incluyendo la especificación base (MNL2). En la siguiente tabla solamente se presentan los modelos con los que se obtienen mejoras significativas en la capacidad explicativa del fenómeno con respecto al modelo que finalmente ha sido considerado como el de referencia (MNL13).

Model	MNL2		MNL6		MNL7		MNL10		MNL11		MNL13	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	0.733	1.11	0.685	1.37	0.734	1.49	0.0669	0.72	0.0643	0.69	0.0717	0.77
$\beta_{t,2}$	-0.106	-7.21	-0.106	-7.25	-0.104	-7.13						
$\beta_{t,3}$	-0.132	-8.49	-0.132	-8.5	-0.133	-8.58						
$\beta_{t,pt}$							-0.118	-11	-0.118	-10.9	-0.119	-10.9
$\beta_{c,2}$	-1.14	-3.21										
$\beta_{c,3}$	-1.17	-3.47										
$\beta_{c,pt}$			-1.16	-3.69	-1.11	-3.54	-1.08	-3.52	-1.02	-3.32	-0.962	-3.11
β_f	-0.0306	-2.06	-0.0308	-2.08	-0.0329	-2.24	-0.0298	-2.01	-0.0319	-2.16	-0.0344	-2.33
* β_{nt0}	0.394	-	0.392	-	0.408	-	0.403	-	0.42	-	0.427	-
β_{nt1}	-0.109	-1.31	-0.108	-1.3	-0.111	-1.33	-0.108	-1.31	-0.112	-1.35	-0.101	-1.23
β_{nt2}	-0.285	-3.51	-0.284	-3.52	-0.297	-3.61	-0.295	-3.67	-0.308	-3.75	-0.326	-3.93
$\beta_{ptA,2}$	0.894	6.4	0.892	6.46	0.818	6.1	0.88	6.41	0.8	6.03		
$\beta_{ptB,2}$	-0.32	-2.34	-0.321	-2.35			-0.334	-2.44				
* $\beta_{ptC,2}$	-0.574	-	-0.571	-			-0.546	-				
$\beta_{ptA,3}$	0.316	2.19	0.314	2.19	0.47	3.86	0.321	2.24	0.484	3.96		
$\beta_{ptB,3}$	0.0716	0.52	0.0715	0.52			0.0692	0.5				
* $\beta_{ptC,3}$	-0.3876	-	-0.3855	-			-0.3902	-				
$\beta_{ptA,pt}$											0.629	6.25
$\beta_{ptB,pt}$					-0.127	-1.29			-0.134	-1.34	-0.103	-1.05
* $\beta_{ptC,pt}$											-0.526	-
K parameters	12		11		10		10		9		8	
N observations	684		684		684		684		684		684	
Init log-likelihood	-474.113		-474.113		-474.113		-474.113		-474.113		-474.113	
Final log-likelihood	-353.977		-353.983		-356.077		-354.779		-357.035		-359.173	
Adjusted rho-square	0.228		0.23		0.228		0.231		0.228		0.226	
Likelihood ratio test:	MNL13/MNL2		MNL13/MNL6		MNL13/MNL7		MNL13/MNL10		MNL13/MNL11			
-2 (LL(β_r)-LL(β))	10.392		10.38		6.192		8.788		4.276			
d.f.	4		3		2		2		1			
LRT l.v. (95%)	9.48773		7.81473		5.99146		5.99146		3.84146			
LR (MNL13-MNLi)	96.57%		98.44%		95.48%		98.76%		96.13%			

Tabla 5.7 Modelos MNL a partir de la especificación base: Exp. 1 / Esc. A, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Se aprecia que en este caso el modelo de referencia no presenta la menor log-verosimilitud, y por tanto puede considerarse que otros modelos son superiores. Sin embargo se ha decidido tomar el modelo MNL13 como el de referencia por los siguientes motivos:

- Esto no sucede en todas las localizaciones, siendo este hecho exclusivo de las localizaciones de Nantes, Valenciennes y, en menor medida, de A Coruña. En el resto de ciudades el modelo MNL13 es claramente superior al resto de modelos MNL a partir del modelo base (MNL2), considerando esta línea de actuación.
- Esta es la especificación que ofrece una mayor consistencia teórica con el fenómeno estudiado, ya que en la definición de *rail factor* se alude de forma explícita a la igualdad de condiciones de las alternativas de transporte público.

De nuevo, los signos y magnitudes relativas de los parámetros son intuitivamente correctos, siendo significativamente distintos de cero en la mayor parte de los casos. También se aprecia que el valor de la ASC del modo ferroviario ($ASC3$) no es significativamente distinto de cero en el modelo de referencia (MNL13).

Los modelos presentados en la anterior tabla tienen en común el hecho de que se considera el nivel “categoría A” de la variable tipo de transporte público como específico para el autobús y para el modo ferroviario. Lo anterior puede interpretarse como que los individuos podrían valorar de forma diferente un transporte público “categoría A” en función de si el transporte es un autobús o un sistema ferroviario. Esto no sucede para la “categoría B”, tal y como puede apreciarse en los valores de los test de igualdad de parámetros (*Correlation $\beta_{i2}-\beta_{i3}$*) en la tabla 5.8.

Cabe destacar que el modelo MNL13-ptA es el único de los denominados como por PARES con el que se obtienen mejoras significativas respecto al modelo de referencia (MNL13), lo que proporciona una idea de la influencia que el atributo tipo de transporte público puede llegar a tener sobre la modelización del fenómeno.

Model	MNL13		MNL13-ptB		MNL13-ptA	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
<i>Coefficient</i>						
ASC2	0	-	0	-	0	-
ASC3	0.0717	0.77	0.0724	0.78	0.0643	0.69
$\beta_{t,pt}$	-0.119	-10.9	-0.119	-10.9	-0.118	-10.9
$\beta_{c,pt}$	-0.962	-3.11	-0.969	-3.12	-1.02	-3.32
β_f	-0.0344	-2.33	-0.0343	-2.32	-0.0319	-2.16
* β_{nt0}	0.427	-	0.4246	-	0.42	-
β_{nt1}	-0.101	-1.23	-0.0986	-1.2	-0.112	-1.35
β_{nt2}	-0.326	-3.93	-0.326	-3.94	-0.308	-3.75
$\beta_{ptA,2}$					0.8	6.03
$\beta_{ptB,2}$			-0.133	-1.12		
$\beta_{ptA,3}$					0.484	3.96
$\beta_{ptB,3}$			-0.0655	-0.51		
$\beta_{ptA,pt}$	0.629	6.25	0.621	6.09		
$\beta_{ptB,pt}$	-0.103	-1.05			-0.134	-1.34
* $\beta_{ptC,pt}$	-0.526	-				
Correlation ($\beta_{i2}-\beta_{i3}$)			0.259	-0.45	0.278	2.06
K parameters	8		9		9	
N observations	684		684		684	
Init log-likelihood	-474.113		-474.113		-474.113	
Final log-likelihood	-359.173		-359.071		-357.035	
Adjusted rho-square	0.226		0.224		0.228	
Likelihood ratio test:			MNL13/MNL13- ptB		MNL13/MNL13- ptA	
-2 (LL(β_r)-LL(β))			0.204		4.276	
d.f.			1		1	
LRT l.v. (95%)			3.84146		3.84146	
LR (MNL13-MNLi)			34.85%		96.13%	

Tabla 5.8. Modelos MNL con tipo de transporte público específico a partir de la especificación de referencia: Exp. 1 /

Esc. A, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Por último, se estiman modelos que incluyen las variables de la sección PR de la encuesta. En este caso la variable elección de modo PR sí tiene un efecto significativamente influyente en la elección de modo en vista de los resultados del test de razón de verosimilitud (LR>95%). A priori los usuarios que eligieron autobús en su desplazamiento PR son más proclives a mantener su elección en el ejercicio PD, ya que el parámetro correspondiente ($\beta_{ch3,3}$) es menor que cero. Lo mismo sucede con los individuos que escogieron un sistema ferroviario como modo PR, es decir, tienden a elegir el modo ferroviario (dado que $\beta_{ch4,3}$ es mayor que cero en este caso). Finalmente, el coeficiente asociado a la categoría “usuario habitual de la red de

transporte público PR” ($\beta_{u,3}$) es positivo, por lo que esta variable favorece ligeramente a la elección del modo ferroviario, aunque no puede concluirse que este efecto sea significativo. Por lo tanto es posible que esta variable afecte a la elección, aunque su influencia no es estimable en este caso.

Model	MNL13		MNL13-ch		MNL13-u		MNL13-ch-u	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient								
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	0.0717	0.77	0.177	1.76	0.0681	0.7	0.135	1.2
$\beta_{t,pt}$	-0.119	-10.9	-0.12	-10.8	-0.119	-10.9	-0.12	-10.9
$\beta_{c,pt}$	-0.962	-3.11	-0.962	-3.09	-0.963	-3.11	-0.965	-3.1
β_f	-0.0344	-2.33	-0.037	-2.45	-0.0343	-2.32	-0.0365	-2.42
* β_{nt0}	0.427	-	0.441	-	0.427	-	0.439	-
β_{nt1}	-0.101	-1.23	-0.104	-1.25	-0.101	-1.22	-0.102	-1.22
β_{nt2}	-0.326	-3.93	-0.337	-4.03	-0.326	-3.93	-0.337	-4.03
$\beta_{ptA,pt}$	0.629	6.25	0.648	6.31	0.63	6.25	0.65	6.32
$\beta_{ptB,pt}$	-0.103	-1.05	-0.108	-1.09	-0.103	-1.06	-0.11	-1.11
* $\beta_{ptC,pt}$	-0.526	-	-0.54	-	-0.527	-	-0.54	-
* $\beta_{ch1,3}$			-0.0436	-			0.0574	-
$\beta_{ch2,3}$			0.0276	0.15			0.0596	0.32
$\beta_{ch3,3}$			-0.509	-3.35			-0.572	-3.37
$\beta_{ch4,3}$			0.525	2.64			0.455	2.11
* $\beta_{nu,3}$					-0.0119	-	-0.112	-
$\beta_{u,3}$					0.0119	0.12	0.112	0.84
K parameters	8		11		9		12	
N observations	684		684		684		684	
Null log-likelihood	-474.113		-474.113		-474.113		-474.113	
Final log-likelihood	-359.173		-352.346		-359.165		-351.996	
Likelihood ratio test	229.88		243.534		229.895		244.233	
Adjusted rho-square	0.226		0.234		0.223		0.232	
Likelihood ratio test:			MNL13/MNL13-ch		MNL13/MNL13-u		MNL13/MNL13-ch-u	
-2 (LL(β_r)-LL(β))			13.654		0.016		14.354	
d.f.			3		1		4	
LRT l.v. (95%)			7.814728		3.841459		9.487729	
LR (MNL13-MNLI)			99.66%		10.07%		99.38%	

Tabla 5.9. Modelos MNL con variables de la sección PR de la encuesta: Exp. 1 / Esc. A, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Probabilidad de elección en igualdad de condiciones

Se procede de forma análoga a la línea de actuación anterior. De nuevo se aprecia que las probabilidades de elección de las alternativas de transporte público apenas presentan diferencias. Esto respalda la conclusión de que no puede afirmarse que

exista una preferencia inherente hacia el modo ferroviario para esta localización, al menos basándose en los modelos MNL.

MNL13	
ASC ₃	0.0717
P _{bus-based}	48.21%
P _{rail-based}	51.79%

Tabla 5.10. Probabilidad de elección de las alternativas de transporte público suponiendo igualdad de condiciones:

Exp. 1 / Esc. A, Nantes

ML (RC)

En el caso de Nantes más del 70% de los modelos ML(RC) estimados, en los que se permite la variación aleatoria de uno o varios coeficientes, son superiores al modelo MNL de referencia (MNL13).

Model	MNL13		ML13-tp1(RC)		ML13-t23(RC)		ML13-ch23(RC)		ML13-ch33(RC)		ML13-ch43(RC)		ML13-u3(RC)	
Coefficient	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	0.0717	0.77	0.0834	0.85	0.768	1.51	0.178	1.51	0.178	1.59	0.18	1.56	0.0596	0.46
βt,2					-0.116	-7.2								
βt,3					-0.146	-8.47								
βt,pt	-0.119	-10.9	-0.132	-8.57			-0.124	-10.7	-0.128	-10.6	-0.124	-10.7	-0.13	-10.5
βc,pt	-0.962	-3.11	-1.03	-3.25	-1.09	-3.33	-0.998	-3.15	-1.01	-3.16	-0.991	-3.14	-1.03	-3.21
βf	-0.0344	-2.33	-0.0381	-2.45	-0.0348	-2.2	-0.039	-2.5	-0.0358	-2.31	-0.0371	-2.41	-0.0349	-2.23
*βnt0	0.427	-	0.4434	-	0.4246	-	0.457	-	0.4542	-	0.448	-	0.4482	-
βnt1	-0.101	-1.23	-0.0964	-1.12	-0.097	-1.12	-0.102	-1.19	-0.0972	-1.14	-0.102	-1.2	-0.0902	-1.05
βnt2	-0.326	-3.93	-0.347	-3.99	-0.359	-4.09	-0.355	-4.14	-0.357	-4.13	-0.346	-4.07	-0.358	-4.11
βptA,pt	0.629	6.25	0.642	6.14	0.712	6.42	0.682	6.38	0.689	6.43	0.668	6.36	0.696	6.42
βptB,pt	-0.103	-1.05	-0.112	-1.08	-0.128	-1.25	-0.122	-1.19	-0.123	-1.21	-0.118	-1.17	-0.131	-1.27
*βptC,pt	-0.526	-	-0.53	-	-0.621	-	-0.56	-	-0.566	-	-0.55	-	-0.565	-
*βch1,3							-0.0482	-	-0.0447	-	-0.05	-		
βch2,3							0.0192	0.08	0.0297	0.16	0.026	0.14		
βch3,3							-0.512	-3.1	-0.536	-2.9	-0.512	-3.14		
βch4,3							0.541	2.58	0.551	2.66	0.536	2.19		
*βnu,3													-0.0116	-
βu,3													0.0116	2.19
σt2					0.0306	4.44								
σt3					0.0013	0.12								
σtpt			0.0664	3.3										
σch23							0.703	3.28						
σch33									0.636	3.32				
σch43											0.59	2.63		
σu3													0.682	2.63
Correlation (βi2-βi3)					0.136	1.34								
Halton draws	-		1000		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	8		9		11		12		12		12		10	
N observations	684		684		684		684		684		684		684	
n individuals	684		78		78		78		78		78		78	
lnit log-likelihood	-474.113		-488.583		-769.697		-477.151		-483.173		-478.427		-485.542	
Final log-likelihood	-359.173		-356.401		-352.095		-349.38		-349.599		-350.737		-354.265	
Adjusted rho-square	0.226		0.229		0.234		0.238		0.237		0.235		0.232	
Likelihood ratio test:			MNL13/ML13-tp1(RC)		MNL13/ML13-t23(RC)		MNL13/ML13-ch23(EC)		MNL13/ML13-ch33(EC)		MNL13/ML13-ch43(EC)		MNL13/ML13-u3(EC)	
-2(LL(β)-LL(β̂))			5.544		14.156		19.586		19.148		16.872		9.816	
d.f.			1		3		4		4		4		2	
LRT l.v. (95%)			3.84146		7.81473		9.48773		9.48773		9.48773		5.99146	
LR (MNL13-MLi)			98.15%		99.73%		99.94%		99.93%		99.80%		99.26%	

Tabla 5.11.a Selección de modelos ML(RC), parte 1: Exp. 2 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Entre ellos destacan los modelos que permiten variaciones en las variables de la sección PR de la encuesta (ML13-chi3(RC) y ML13-u3(RC)), en el que se permite variación en el tiempo de forma genérica (ML13-tpt(RC), que además comparte especificación de la utilidad con el modelo MNL de referencia, al menos en lo que a la media de los parámetros se refiere). También destaca el modelo en el que se permite variación en el tiempo de forma específica (ML13-t23(RC)).

De nuevo se considera la especificación del modelo ML13-tpt(RC) como la más adecuada para este estudio, principalmente porque se ha mostrado como una de las superiores en la mayor parte de las localizaciones y de las combinaciones experimento/escenario. Además, se adapta a la perfección a la definición del fenómeno estudiado (*rail factor*). Por este mismo motivo no se han considerado como referencia los modelos en los que se incluyen variables de la sección PR de la encuesta, ya que de este modo se aislaría el efecto de la experiencia previa con la red de transporte público PR y modo de desplazamiento PR. Este enfoque se ha planteado como posible línea de investigación futura, tal y como puede verse en el capítulo 7.

En cuanto al atributo tipo de transporte público, solamente se obtienen mejoras significativas en la capacidad explicativa del modelo MNL13 considerando la variación aleatoria en la “categoría A” para la alternativa autobús (ML13-ptA,2(RC)), lo que podría indicar que las mayores diferencias a la hora de evaluar si es o no importante que el modo de transporte presente o no esta categoría, se dan en esta alternativa.

Model	MNL13		ML13-ptB2(RC)		ML13-ptB3(RC)		ML13-ptBpt(RC)		ML13-ptA2(RC)		ML13-ptA3(RC)		ML13-ptApt(RC)	
Coefficient	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	0.0717	0.77	0.0724	0.78	0.0724	0.78	0.0717	0.77	0.0569	0.59	0.0643	0.69	0.066	0.7
β t,pt	-0.119	-10.9	-0.119	-10.9	-0.119	-10.9	-0.119	-10.9	-0.123	-10.6	-0.118	-10.9	-0.123	-10.5
β c,pt	-0.962	-3.11	-0.969	-3.12	-0.969	-3.12	-0.962	-3.11	-1.03	-3.32	-1.02	-3.32	-0.987	-3.09
β f	-0.0344	-2.33	-0.0343	-2.32	-0.0343	-2.32	-0.0344	-2.33	-0.0321	-2.12	-0.0319	-2.16	-0.0342	-2.28
* β nt0	0.427	-	0.4246	-	0.4246	-	0.427	-	0.439	-	0.42	-	0.434	-
β nt1	-0.101	-1.23	-0.0986	-1.2	-0.0986	-1.2	-0.101	-1.23	-0.117	-1.37	-0.112	-1.35	-0.107	-1.28
β nt2	-0.326	-3.93	-0.326	-3.94	-0.326	-3.94	-0.326	-3.93	-0.322	-3.78	-0.308	-3.75	-0.327	-3.87
β ptA,2									0.853	5.44	0.8	6.03		
β ptB,2			-0.133	-1.12	-0.133	-1.12								
β ptA,3									0.495	3.95	0.484	3.96		
β ptB,3			-0.0654	-0.51	-0.0654	-0.51								
β ptA,pt	0.629	6.25	0.621	6.09	0.621	6.09	0.629	6.25					0.644	5.78
β ptB,pt	-0.103	-1.05					-0.103	-1.05	-0.151	-1.47	-0.134	-1.34	-0.109	-1.09
* β ptC,pt	-0.526	-					-0.526	-					-0.535	-
optA2									0.61	2.81				
optB2			0.00036	0										
optA3											0.0003	0		
optB3					9.3E-06	0								
optApt													0.358	1.89
optBpt							0.00123	0						
Correlation (β 2- β 3)			0.259	-0.45	0.259	-0.45			0.253	2.06	0.278	2.06		
Halton draws	-		1000		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	8		10		10		9		10		10		9	
N observations	684		684		684		684		684		684		684	
n individuals	684		78		78		78		78		78		78	
lnit log-likelihood	-474.113		-484.786		-493.151		-491.712		-480.326		-492.192		-486.478	
Final log-likelihood	-359.173		-359.071		-359.071		-359.173		-355.468		-357.035		-358.548	
Adjusted rho-square	0.226		0.222		0.222		0.223		0.229		0.226		0.225	
Likelihood ratio test:			MNL13/ML13-ptB2(RC)		MNL13/ML13-ptB3(RC)		MNL13/ML13-ptBpt(RC)		MNL13/ML13-ptA2(RC)		MNL13/ML13-ptA3(RC)		MNL13/ML13-ptApt(RC)	
-2 (LL(β r)-LL(β))			0.204		0.204		0		7.41		4.276		1.25	
d.f.			2		2		1		2		2		1	
LRT l.v. (95%)			5.99146		5.99146		3.84146		5.99146		5.99146		3.84146	
LR (MNL13-MLi)			9.70%		9.70%		0.00%		97.54%		88.21%		73.64%	

Tabla 5.11.b Selección de modelos ML(RC), parte 2: Exp. 2 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

5.4.2.3. Experimento 2 / Escenario B: influencia de coche disponible sobre rail factor

La introducción de una nueva alternativa permite realizar modelos con especificaciones en las que se distinguen coeficientes genéricos para atributos del transporte público, pero diferentes a los del coche, en aquellos atributos que son comunes a las 3 alternativas (tiempo y coste). También es posible introducir correlación entre alternativas de transporte público (NL y ML(EC)), o permitir variaciones aleatorias asociadas a las ASC mediante modelos ML en su especificación RC, lo que debe realizarse mediante el correcto manejo de las estructuras de error.

MNL

Tal y como sucedía en la primera línea de actuación, si no se consideran los efectos del atributo tipo de transporte público, ninguna especificación mejora significativamente a la de referencia (MNL10) (para más información véase anexo

A16). Lo que sí puede apreciarse es que las ASC son significativamente distintas de cero y con signo positivo. Aunque a priori esto podría considerarse como inesperado en relación a la alternativa coche, puede deberse a que los encuestados forman parte de una comunidad, la universitaria, que está más concienciada medioambientalmente hablando que la media, y por tanto con una clara preferencia por los modos de transporte público. Esto no siempre sucede así (véanse anexos de resultados correspondientes a otras localizaciones, del A17 al A21). Por otra parte, no se obtienen mejoras al considerar como específicos los atributos por PARES para las alternativas de transporte público, tal y como se aprecia en la tabla siguiente.

Model	MNL10		MNL10-t		MNL10-c		MNL10-f		MNL10-nt1		MNL10-nt2	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	1.8	2.26	2.26	2.61	1.52	1.87	1.47	1.76	1.66	1.97	1.77	2.21
ASC3	1.71	2.19	1.32	1.58	2.5	2.79	2.37	2.68	1.56	1.88	1.67	2.12
$\beta_{t,1}$	-0.128	-5.36	-0.124	-5.14	-0.121	-5.06	-0.129	-5.44	-0.134	-5.1	-0.131	-5.29
$\beta_{t,2}$			-0.187	-9.47								
$\beta_{t,3}$			-0.147	-7.11								
$\beta_{t,pt}$	-0.168	-12.1			-0.168	-11.9	-0.169	-12.1	-0.169	-12.2	-0.169	-12.1
$\beta_{c,1}$	-0.725	-7.52	-0.739	-7.58	-0.689	-7.08	-0.749	-7.61	-0.752	-6.95	-0.737	-7.29
$\beta_{c,2}$					-0.532	-1.58						
$\beta_{c,3}$					-1.34	-3.61						
$\beta_{c,pt}$	-0.891	-3.22	-0.857	-3.05			-0.939	-3.36	-0.896	-3.24	-0.91	-3.24
$\beta_{f,2}$							-0.0264	-0.69				
$\beta_{f,3}$							-0.152	-2.96				
β_f	-0.0768	-3.16	-0.0831	-3.35	-0.0802	-3.25			-0.0749	-3.06	-0.0746	-2.99
$\beta_{nt1,2}$									0.0449	0.23		
$\beta_{nt2,2}$											-0.447	-2.93
$\beta_{nt1,3}$									-0.109	-0.63		
$\beta_{nt2,3}$											-0.545	-2.78
* β_{nt0}	0.5235	-	0.552	-	0.5358	-	0.5008	-				
β_{nt1}	-0.0395	-0.33	-0.052	-0.44	-0.0748	-0.62	-0.0338	-0.28			-0.0348	-0.29
β_{nt2}	-0.484	-4.04	-0.5	-4.12	-0.461	-3.83	-0.467	-3.86	-0.511	-3.95		
Correlation (β_2 - β_3)			-0.0571	-1.39	0.239	1.84	-0.377	1.68	-0.149	0.56	-0.0075	0.39
K parameters	9		10		10		10		10		10	
N observations	522		522		522		522		522		522	
Init log-likelihood	-573.476		-573.476		-573.476		-573.476		-573.476		-573.476	
Final log-likelihood	-372.777		-371.82		-371.059		-371.369		-372.621		-372.7	
Adjusted rho-square	0.334		0.334		0.336		0.335		0.333		0.333	
Likelihood ratio test:			MNL10/MNL10-t		MNL10/MNL10-c		MNL10/MNL10-f		MNL10/MNL10-nt1		MNL10/MNL10-nt2	
-2 (LL(β_r)-LL(β))			1.914		3.436		2.816		0.312		0.154	
d.f.			1		1		1		1		1	
LRT l.v. (95%)			3.84146		3.84146		3.84146		3.84146		3.84146	
LR (MNL10-MNLI)			83.35%		93.62%		90.67%		42.35%		30.53%	

Tabla 5.12. Modelos MNL por pares a partir de la especificación de referencia: Exp. 2 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

También se aprecia que en ningún caso los resultados de los test de igualdad de parámetros (*Correlation β_{i2} - β_{i3}*) muestran de forma significativa que los parámetros deban ser candidatos a considerarse como específicos.

La introducción del coche como alternativa disponible también posibilita la especificación de nuevos modelos en los que se incluyen variables de la sección de datos PR de la encuesta.

Model	MNL10-chS		MNL10-chG		MNL10-uS		MNL10-uG		MNL10-chS-uS		MNL10-chG-uG	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	1.52	1.85	1.51	1.83	1.83	2.29	1.83	2.28	1.47	1.78	1.48	1.8
ASC3	1.38	1.72	1.41	1.74	1.78	2.27	1.74	2.21	1.43	1.76	1.38	1.71
$\beta_{t,1}$	-0.139	-5.6	-0.139	-5.61	-0.128	-5.36	-0.129	-5.38	-0.139	-5.6	-0.139	-5.61
$\beta_{t,pt}$	-0.174	-12.1	-0.173	-12.2	-0.17	-12.1	-0.169	-12.1	-0.174	-12.2	-0.173	-12.2
$\beta_{c,1}$	-0.769	-7.71	-0.767	-7.7	-0.726	-7.51	-0.726	-7.52	-0.769	-7.7	-0.767	-7.71
$\beta_{c,pt}$	-0.831	-2.95	-0.828	-2.95	-0.889	-3.21	-0.886	-3.2	-0.831	-2.95	-0.828	-2.95
β_f	-0.0766	-3.11	-0.077	-3.15	-0.0753	-3.09	-0.0769	-3.16	-0.0763	-3.1	-0.077	-3.15
* β_{nt0}	0.5508	-	0.5533	-	0.5154	-	0.5259	-	0.5487	-	0.5526	-
β_{nt1}	-0.0468	-0.38	-0.0493	-0.41	-0.0304	-0.26	-0.0399	-0.34	-0.0457	-0.38	-0.0496	-0.41
β_{nt2}	-0.504	-4.18	-0.504	-4.18	-0.485	-4.04	-0.486	-4.05	-0.503	-4.17	-0.503	-4.18
* $\beta_{ch1,2}$	0.6379	-							0.777	-		
$\beta_{ch2,2}$	-0.826	-3.45							-0.787	-3.22		
$\beta_{ch3,2}$	-0.0429	-0.19							-0.132	-0.53		
$\beta_{ch4,2}$	0.231	0.88							0.142	0.5		
* $\beta_{ch1,3}$	0.7466	-							0.666	-		
$\beta_{ch2,3}$	-0.897	-3.24							-0.915	-3.25		
$\beta_{ch3,3}$	0.0871	0.36							0.136	0.5		
$\beta_{ch4,3}$	0.0633	0.22							0.113	0.36		
* $\beta_{ch1,pt}$			0.6859	-							0.733	-
$\beta_{ch2,pt}$			-0.852	-4.07							-0.839	-3.93
$\beta_{ch3,pt}$			0.0121	0.06							-0.018	-0.08
$\beta_{ch4,pt}$			0.154	0.67							0.124	0.5
* $\beta_{nu,2}$					0.044	-			-0.154	-		
$\beta_{u,2}$					-0.044	-0.31			0.154	0.79		
* $\beta_{nu,3}$					0.208	-			0.085	-		
$\beta_{u,3}$					-0.208	-1.43			-0.085	-0.4		
* $\beta_{nu,pt}$							0.12	-			-0.0517	-
$\beta_{u,pt}$							-0.12	-0.99			0.0517	0.3
K parameters	15		12		11		10		17		13	
N observations	522		522		522		522		522		522	
Init log-likelihood	-573.476		-573.476		-573.476		-573.476		-573.476		-573.476	
Final log-likelihood	-360.535		-360.853		-371.7		-372.28		-359.888		-360.808	
Adjusted rho-square	0.345		0.35		0.333		0.333		0.343		0.348	
Likelihood ratio test:	MNL10/MNL10-chS	MNL10/MNL10-chG	MNL10/MNL10-uS	MNL10/MNL10-uG	MNL10/MNL10-chS-uS	MNL10/MNL10-chG-uG						
-2 (LL(Br)-LL(β))	24.484	23.848	2.154	0.994	25.778	23.938						
d.f.	6	3	2	1	8	4						
LRT l.v. (95%)	12.59159	7.81473	5.99146	3.84146	15.50731	9.48773						
LR (MNL10-MNLI)	99.96%	100.00%	65.94%	68.12%	99.89%	99.99%						
Likelihood ratio test:		MNL10-chG/MNL10-chS		MNL10-uG/MNL10-uS		MNL10-chG-uG/MNL10-chS-uS						
-2 (LL(Br)-LL(β))		0.636		1.16		1.84						
d.f.		3		1		4						
LRT l.v. (95%)		7.81473		3.84146		9.48773						
LR (MNLG-MNLS)		11.19%		71.85%		23.48%						

Tabla 5.13. Modelos MNL con variables de la sección PR de la encuesta: Exp. 2 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Debido a que la propia alternativa coche actúa como referencia para este tipo de variables categóricas, ahora es posible especificar los parámetros asociados a sus categorías de forma específica (parámetros diferentes para autobús y modo ferroviario, modelos acabados en S), o genérica (el mismo parámetro para autobús y modo ferroviario, modelos acabados en G).

Tal y como puede verse en la tabla anterior, se obtienen mejoras significativas respecto al modelo de referencia (MNL10) cuando se incluye la elección de modo PR, ya sea de forma específica (MNL10-chS) o genérica (MNL10-chG). En cuanto a la experiencia previa con la red de transporte público PR, no se obtienen mejoras significativas sobre el modelo restringido, al considerar esta variable de forma independiente (MNL10-uS y MNL10-uG). Si se consideran ambas variables de la sección PR de la encuesta de forma conjunta, sí se obtienen mejoras en la capacidad explicativa (MNL10-chS-uS y MNL10-chG-uG), aunque parece lógico pensar que estas mejoras son debidas casi en exclusiva a la introducción de la elección de modo PR. También se aprecia que los modelos en los que se consideran coeficientes genéricos son los correctos según los test de razón de verosimilitud para ambos casos ($LR(MNLG-MNLS) < 95\%$, lo que implica que los modelos generales no mejoran a los restringidos, que en este caso son los que tienen coeficientes genéricos).

Para finalizar, analizando los valores de los parámetros asociados a las categorías de la elección de modo PR, se aprecian diferencias en la influencia que esta variable tiene en la elección: mientras que si se ha elegido coche en el desplazamiento PR ($\beta_{chl,j}$) esta variable favorece la elección de coche en el ejercicio PD, si se ha elegido un modo no motorizado en el desplazamiento PR ($\beta_{chl,j}$), se favorece la elección del transporte público en el ejercicio PD. Este es el único coeficiente del atributo elección de modo PR que presenta valores significativos.

En cualquier caso la especificación de referencia sigue siendo la del modelo MNL10, por las mismas razones que se expusieron en el apartado anterior, directamente relacionadas con la definición de *rail factor*.

NL

Mediante esta tipología de modelos se permite la correlación entre alternativas de transporte público asignándolas a un mismo nido, estimándose un parámetro adicional para este nido ($\lambda_{nest_{pt}}$). Para el caso de Nantes se reproducen los mismos patrones que en los modelos MNL de esta línea de acción, es decir, ningún modelo a partir del

modelo base mejora al de referencia NL10 (véase anexo 16). En la siguiente tabla se muestran los resultados de esta modelización junto a los del modelo MNL10.

Model	MNL10		NL10	
	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient				
ASC1	0	-	0	-
ASC2	1.8	2.26	0.432	0.47
ASC3	1.71	2.19	0.363	0.4
$\beta_{t,1}$	-0.128	-5.36	-0.135	-5.78
$\beta_{t,pt}$	-0.168	-12.1	-0.121	-5.34
$\beta_{c,1}$	-0.725	-7.52	-0.694	-7.5
$\beta_{c,pt}$	-0.891	-3.22	-0.625	-2.55
β_f	-0.0768	-3.16	-0.0548	-3.01
* β_{nt0}	0.5235	-	0.3231	-
β_{nt1}	-0.0395	-0.33	0.0349	0.41
β_{nt2}	-0.484	-4.04	-0.358	-3.66
λ_{nest1}			1	-
** λ_{nestpt}			1.69	1.79
K parameters	9		10	
N observations	522		522	
Init log-likelihood	-573.476		-573.382	
Final log-likelihood	-372.777		-369.68	
Likelihood ratio test	401.397		407.592	
Adjusted rho-square	0.334		0.338	
Likelihood ratio test:			MNL10/NL10	
-2 (LL(β_r)-LL(β))			6.194	
d.f.			1	
LRT l.v. (95%)			3.84146	
LR (MNL10-NL10)			98.72%	

Tabla 5.14. Comparación de modelos MNL y NL de referencia: Exp. 2 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

** El test-t realizado para el parámetro de nido λ_{nestpt} se calcula respecto a 1 siendo además un test de una cola

Cabe destacar que el test-t realizado para el parámetro de nido que engloba a las alternativas de transporte público (λ_{nestpt}), se calcula respecto a un valor de 1. A diferencia del resto de test-t calculados se trata de un test de una cola, por lo que el valor crítico para una significación estadística del 95% es de 1.645. Por lo tanto puede afirmarse que el valor del parámetro de nido es significativamente distinto de 1 en este caso, es decir, existe correlación entre las alternativas de transporte público. Los resultados del test de razón de verosimilitud muestran que con el modelo NL10 se obtienen mejoras significativas respecto al modelo MNL10, lo que respalda la idea de que existe una correlación que no se ha considerado en la modelización MNL10.

Tal y como sucedía en la sección MNL, no se obtienen mejoras significativas en los modelos NL por PARES (véase anexo A16), y también se repiten las tendencias en las

especificaciones NL en las que se tienen en cuenta las variables de la sección PR de la encuesta, que se enumeran tras la tabla siguiente.

Model	NL10-chS		NL10-chG		NL10-uS		NL10-uG		NL10-chS-uS		NL10-chG-uG	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	0.37	0.4	0.359	0.39	0.44	0.49	0.462	0.51	0.349	0.38	0.338	0.36
ASC3	0.259	0.29	0.281	0.31	0.401	0.45	0.392	0.44	0.31	0.34	0.261	0.29
$\beta t,1$	-0.143	-5.93	-0.143	-5.94	-0.135	-5.79	-0.135	-5.79	-0.143	-5.93	-0.143	-5.94
$\beta t,pt$	-0.132	-5.55	-0.132	-5.57	-0.121	-5.34	-0.122	-5.35	-0.132	-5.57	-0.132	-5.57
$\beta c,1$	-0.736	-7.62	-0.735	-7.63	-0.694	-7.49	-0.695	-7.5	-0.735	-7.61	-0.736	-7.63
$\beta c,pt$	-0.611	-2.42	-0.61	-2.41	-0.626	-2.59	-0.622	-2.54	-0.618	-2.45	-0.611	-2.41
βf	-0.0573	-2.97	-0.0586	-3.04	-0.0532	-2.97	-0.055	-3.02	-0.0576	-2.98	-0.0586	-3.04
* $\beta nt0$	0.3559	-	0.3634	-	0.3109	-	0.3253	-	0.3557	-	0.3635	-
$\beta nt1$	0.0331	0.35	0.0256	0.27	0.0451	0.53	0.0347	0.4	0.0333	0.35	0.0255	0.27
$\beta nt2$	-0.389	-3.73	-0.389	-3.73	-0.356	-3.67	-0.36	-3.66	-0.389	-3.73	-0.389	-3.73
* $\beta ch1,2$	0.59391	-							0.7057	-		
$\beta ch2,2$	-0.784	-3.56							-0.758	-3.38		
$\beta ch3,2$	0.00209	0.01							-0.0667	-0.29		
$\beta ch4,2$	0.188	0.78							0.119	0.45		
* $\beta ch1,3$	0.7106	-							0.6566	-		
$\beta ch2,3$	-0.826	-3.34							-0.83	-3.29		
$\beta ch3,3$	0.0335	0.15							0.0624	0.25		
$\beta ch4,3$	0.0819	0.32							0.111	0.4		
* $\beta ch1,pt$			0.6457	-							0.691	-
$\beta ch2,pt$			-0.8	-3.91							-0.788	-3.77
$\beta ch3,pt$			0.0133	0.07							-0.015	-0.07
$\beta ch4,pt$			0.141	0.63							0.112	0.46
* $\beta nu,2$					0.0556	-			-0.12	-		
$\beta u,2$					-0.0556	-0.44			0.12	0.66		
* $\beta nu,3$					0.183	-			0.0503	-		
$\beta u,3$					-0.183	-1.41			-0.0503	-0.26		
* $\beta nu,pt$							0.113	-			-0.0485	-
$\beta u,pt$							-0.113	-0.96			0.0485	0.29
$\lambda nest1$	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-
** $\lambda nestpt$	1.56	1.61	1.55	1.6	1.71	1.84	1.68	1.79	1.56	1.6	1.55	1.6
K parameters	16		13		12		11		18		14	
N observations	522		522		522		522		522		522	
Init log-likelihood	-573.382		-573.382		-573.382		-573.382		-573.382		-573.382	
Final log-likelihood	-358.298		-358.62		-368.385		-369.214		-357.681		-358.579	
Adjusted rho-square	0.347		0.352		0.337		0.337		0.345		0.35	
Likelihood ratio test:	NL10/NL10-chS	NL10/NL10-chG	NL10/NL10-uS	NL10/NL10-uG	NL10/NL10-chS-uS	NL10/NL10-chG-uG						
-2 (LL(Br)-LL(β))	22.764	22.12	2.59	0.932	23.998	22.202						
d.f.	6	3	2	1	8	4						
LRT l.v. (95%)	12.59159	7.81473	5.99146	3.84146	15.50731	9.48773						
LR (NL10-NLi)	99.91%	99.99%	72.61%	66.57%	99.77%	99.98%						
Likelihood ratio test:		NL10-chG/NL10-chS		NL10-uG/NL10-uS		NL10-chG-uG/NL10-chS-uS						
-2 (LL(Br)-LL(β))		0.644		1.658		1.796						
d.f.		3		1		4						
LRT l.v. (95%)		7.81473		3.84146		9.48773						
LR (NLG-NLS)		11.37%		80.21%		22.68%						

Tabla 5.15. Modelos NL con variables de la sección PR de la encuesta: Exp. 2 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

** El test-t realizado para el parámetro de nido $\lambda nestpt$ se calcula respecto a 1 siendo además un test de una cola

- Se obtienen mejoras significativas respecto al modelo de referencia cuando se incluye la elección de modo PR, ya sea de forma independiente (NL10-chG y

NL10-chS) o conjuntamente con la experiencia previa con la red de transporte público PR (NL10-chG-uG y NL10chS-uS).

- No se obtienen mejoras significativas sobre el modelo restringido, al considerar la experiencia previa con la red de transporte público PR de forma independiente (MNL10-uS y MNL10-uG).
- Los modelos en los que se consideran coeficientes genéricos son los correctos según los test de razón de verosimilitud ($LR(NLG-NLS) < 95\%$) para ambos casos.
- Usuarios PR de coche tienden a mantener su elección en el ejercicio PD, mientras que haber elegido un modo no motorizado para el desplazamiento PR favorece la elección de transporte público en el ejercicio PD.

En estos casos solamente puede decirse que existe una correlación significativa cuando se considera independientemente la variable experiencia previa con la red de transporte público PR (NL10-uS y NL10-uG), dados los valores del test-t para los parámetros de nido. Por este motivo, y por las razones relacionadas con la definición del *rail factor* y con la metodología de estudio empleada (descritas en apartados anteriores), el modelo de referencia para este apartado será en este caso el NL10.

ML (EC)

Mediante la estimación de modelos ML en su versión como componentes de error se introduce la posible correlación existente entre alternativas de transporte público, considerando además la correlación entre observaciones pertenecientes a un mismo individuo (datos de PD) de forma simultánea. En la especificación de las utilidades de las alternativas de transporte público se incluye un término aleatorio común que distribuye $N(EC_{pt}, \sigma_{pt})$, tal y como puede verse en la expresión (5.34). De nuevo aparecen los mismos patrones que los mostrados para los modelos MNL y NL a partir del modelo base correspondiente, es decir, ningún modelo del tipo ML(EC) mejora al de referencia (ML10(EC)).

Model	MNL10		ML10(EC)	
	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient				
ASC1	0	-	0	-
ASC2	1.8	2.26	0.952	1.01
ASC3	1.71	2.19	0.841	0.91
$\beta_{t,1}$	-0.128	-5.36	-0.188	-6.23
$\beta_{t,pt}$	-0.168	-12.1	-0.189	-11.9
$\beta_{c,1}$	-0.725	-7.52	-0.955	-7.89
$\beta_{c,pt}$	-0.891	-3.22	-0.864	-2.84
β_f	-0.0768	-3.16	-0.0835	-3.26
* β_{nt0}	0.5235	-	0.55793	-
β_{nt1}	-0.0395	-0.33	-0.0019	-0.02
β_{nt2}	-0.484	-4.04	-0.556	-4.35
σ_{pt}			1.56	6.01
EC _{pt}			0	-
Halton draws	-		1000	
K parameters	9		10	
N observations	522		522	
n individuals	522		59	
Init log-likelihood	-573.476		-570.494	
Final log-likelihood	-372.777		-348.473	
Adjusted rho-square	0.334		0.375	
Likelihood ratio test:			MNL10 / ML10(EC)	
-2 (LL(β_r)-LL(β))			5.964	
d.f.			1	
LRT l.v. (95%)			3.84146	
LR (MNL10-ML10EC)			98.54%	

Tabla 5.16. Comparación de modelos MNL y ML(EC) de referencia: Exp. 2 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

El modelo ML10(EC) es superior al modelo MNL10 dados los resultados del test de razón de verosimilitud (LR). Además, presenta mayor verosimilitud que el modelo NL10, y puesto que la variabilidad asociada a las alternativas de transporte público es significativamente distinta de cero, puede afirmarse que tanto la correlación entre los modos autobús y ferroviario como la correlación entre observaciones para un mismo individuo son significativas.

En las especificaciones derivadas del modelo de referencia se obtienen resultados similares a los mostrados en los apartados MNL y NL (véase anexo A16):

- Modelos por PARES: ningún parámetro es candidato a ser tratado como específico para las alternativas de transporte público.

- Modelos con variables de la sección PR de la encuesta: solamente se obtienen mejoras significativas con la variable elección de modo PR (ML10-chG(EC) y ML10-chS(EC)); modelos con variables PR específicas no mejoran la capacidad explicativa de forma significativa sobre modelos con variables PR genéricas; y los usuarios PR de coche tienden a elegirlo de nuevo en el ejercicio PD, mientras que los usuarios de transporte no motorizado PR son más proclives a elegir transporte público en el ejercicio PD.

ML (RC)

Todos los modelos estimados en los que se permite la variación aleatoria de 1 o varios coeficientes mejoran la capacidad explicativa del modelo MNL de referencia (MNL10), a excepción de los modelos en los que se incluye la heterogeneidad en los atributos número de transbordos (ML10-nt1,i(RC) y ML10-nt2,i(RC)) y la experiencia previa con la red de transporte público (ML10-uG(RC) y M10-uS(RC)). A continuación se muestran los modelos más destacados en lo que a valores de log-verosimilitud se refiere (para más información véase anexo A16).

En este caso los modelos superiores son aquellos en los que se considera una variación aleatoria en el tiempo de viaje para las alternativas de transporte público, ya sea de forma conjunta (ML10-tpt(RC) y ML10-t1,pt(RC)) o independiente (ML10-t123(RC)). También destacan algunos de los modelos en los que se estiman variaciones aleatorias en la elección de modo PR de forma genérica (ML10-ch3ptG(RC) y ML10-ch234ptG(RC)). Se considera que la mejor opción en este caso es el modelo ML10-t1,pt(RC), puesto que además de seguir en la línea de modelos de referencia anteriores en los que se permiten variaciones aleatorias en los tiempos de viaje (facilita comparaciones), se obtiene con el mismo tanto una de las mayores log-verosimilitudes como una de las mejores bondades de ajuste.

Model	ML10-tpt(RC)		ML10-t1,pt(RC)		ML10-t123(RC)		ML10-ch3ptG(RC)		ML10-ch234ptG(RC)	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient										
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	1.7	1.93	1.24	1.32	1.46	1.42	1.02	1.14	0.849	0.9
ASC3	1.55	1.78	1.09	1.18	0.238	0.24	0.909	1.03	0.737	0.8
$\beta_{t,1}$	-0.17	-6.03	-0.195	-5.74	-0.212	-5.77	-0.174	-6.17	-0.188	-6.24
$\beta_{t,2}$					-0.231	-8.97				
$\beta_{t,3}$					-0.174	-7.35				
$\beta_{t,pt}$	-0.209	-10.4	-0.2	-10.9			-0.185	-12	-0.19	-11.9
$\beta_{c,1}$	-0.91	-7.89	-0.933	-7.84	-0.948	-7.93	-0.899	-7.94	-0.955	-7.89
$\beta_{c,pt}$	-0.955	-3.1	-0.93	-3	-0.826	-2.65	-0.824	-2.77	-0.827	-2.72
β_f	-0.0763	-3	-0.0803	-3.12	-0.0993	-3.54	-0.0808	-3.21	-0.0829	-3.24
* β_{nt0}	0.5775	-	0.5623	-	0.5981	-	0.5773	-	0.5798	-
β_{nt1}	-0.0385	-0.31	-0.0213	-0.17	-0.0321	-0.24	-0.0293	-0.23	-0.0138	-0.11
β_{nt2}	-0.539	-4.25	-0.541	-4.25	-0.566	-4.3	-0.548	-4.38	-0.566	-4.44
* $\beta_{ch1,pt}$							0.937	-	1.0253	-
$\beta_{ch2,pt}$							-1.04	-3.95	-1.11	-3.29
$\beta_{ch3,pt}$							0.0131	0.04	-0.0493	-0.13
$\beta_{ch4,pt}$							0.0899	0.33	0.134	0.34
σ_{t1}			0.044	2.75	0.0813	5.31				
σ_{t2}					0.0367	3.44				
σ_{t3}					0.00275	0.16				
σ_{tpt}	0.0731	6.13	0.0605	4.56						
σ_{ch2pt}									0.812	2.23
σ_{ch3pt}							1.55	4.81	1.45	4.1
σ_{ch4pt}									1.08	2.57
Correlation ($\beta_{i2}-\beta_{i3}$)	0.0485	1.16	-0.0068	0.12	0.101	-1.71				
Halton draws	1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	10		11		13		13		15	
N observations	522		522		522		522		522	
n individuals	59		59		59		59		59	
Null log-likelihood	-573.476		-573.476		-573.476		-573.476		-573.476	
Cte log-likelihood	-571.778		-571.778		-571.778		-571.778		-571.778	
Init log-likelihood	-709.009		-622.707		-696.822		-571.499		-573.12	
Final log-likelihood	-347.461		-346.844		-348.566		-346.119		-342.657	
Likelihood ratio test	452.03		453.264		449.82		454.713		461.637	
Rho-square	0.394		0.395		0.392		0.396		0.402	
Adjusted rho-square	0.377		0.376		0.37		0.374		0.376	
Likelihood ratio test:	MNL10/ML10-tpt(RC)	MNL10/ML10-t1,pt(RC)	MNL10/ML10-t123(RC)	MNL10/ML10-ch3ptG(RC)	MNL10/ML10-ch234ptG(RC)					
-2 (LL(β_r)-LL(β))	50.632	51.866	48.422	53.316	60.24					
d.f.	1	2	4	4	6					
LRT i.v. (95%)	3.84146	5.99146	9.48773	9.48773	12.59159					
LR (MNL10-MLi)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%					

Tabla 5.17. Selección de modelos ML(RC): Exp. 2 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

El principal cambio en esta sección cuando se tienen 3 alternativas disponibles consiste en la posibilidad de estimar modelos en los que se permite una variación aleatoria asociada a alguna de las ASC. A continuación se muestra el modelo empleado para determinar la menor de las desviaciones por cuestiones de

identificación (ML10-ASCid(RC)) y los distintos modelos considerando cada una de las desviaciones correspondientes como la de referencia, y por tanto fijadas a cero (ML10-ASC1(RC), ML10-ASC2(RC) y ML10-ASC3(RC)). Puede apreciarse que la variación de referencia debe ser la asociada a la ASC para el autobús (ML10-ASC2(RC)), bien sea a través del modelo para su identificación (presenta menor variabilidad) o bien porque es el modelo que presenta la mayor log-verosimilitud. También puede verse que la ASC que presenta una mayor heterogeneidad es la correspondiente a la alternativa coche (σ_{ASC1}).

Model	ML10-ASCid(RC)		ML10-ASC1(RC)		ML10-ASC2(RC)		ML10-ASC3(RC)	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient								
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	1.07	1.11	2.23	2.52	1.05	1.1	1.02	1.07
ASC3	0.931	0.98	2.07	2.4	0.909	0.97	0.915	0.97
$\beta_{t,1}$	-0.19	-6.2	-0.15	-5.48	-0.19	-6.21	-0.19	-6.21
$\beta_{t,pt}$	-0.195	-10.9	-0.202	-11.1	-0.194	-11	-0.193	-11.4
$\beta_{c,1}$	-0.968	-7.82	-0.842	-7.5	-0.969	-7.83	-0.966	-7.84
$\beta_{c,pt}$	-0.892	-2.89	-1.03	-3.42	-0.89	-2.88	-0.889	-2.88
β_f	-0.0845	-3.2	-0.0927	-3.28	-0.084	-3.22	-0.0864	-3.26
* β_{nt0}	0.56396	-	0.598	-	0.56181	-	0.5705	-
β_{nt1}	0.00404	0.03	-0.025	-0.19	0.00519	0.04	-0.0045	-0.03
β_{nt2}	-0.568	-4.36	-0.573	-4.34	-0.567	-4.37	-0.566	-4.37
σ_{ASC1}	1.57	5.88	0	-	1.58	5.95	1.58	5.92
σ_{ASC2}	0.204	0.37	1.05	4.36	0	-	0.421	1.37
σ_{ASC3}	0.419	1.1	1.11	4.2	0.442	1.26	0	-
Halton draws	1000		1000		1000		1000	
K parameters	12		11		11		11	
N observations	522		522		522		522	
n individuals	59		59		59		59	
Init log-likelihood	-573.476		-573.476		-573.476		-573.476	
Final log-likelihood	-348.191		-363.756		-348.162		-348.173	
Adjusted rho-square	0.372		0.347		0.374		0.374	

Tabla 5.18. Modelos ML(RC) con variación aleatoria en ASC: Exp. 2 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

En cuanto a las variables categóricas de la encuesta PR tomando el modelo ML10-ASC2(RC) como referencia, solamente la especificación como genérico del modo de transporte para el desplazamiento PR ofrece mejoras significativas a la capacidad explicativa sobre el modelo de referencia, ya sea de forma individual

(ML10-ASC2-chG(RC)) o conjuntamente con la experiencia previa con la red de transporte público PR (ML10-ASC2-chG-uG(RC)).

Model	ML10-ASC2- chG(RC)		ML10-ASC3- uG(RC)		ML10-ASC2- chG-uG(RC)	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient						
ASC1	0	-	0	-	0	-
ASC2	0.919	0.96	1.08	1.13	0.885	0.92
ASC3	0.779	0.83	0.982	1.04	0.745	0.79
$\beta_{t,1}$	-0.19	-6.22	-0.19	-6.21	-0.19	-6.22
$\beta_{t,pt}$	-0.195	-11	-0.193	-11.4	-0.195	-11
$\beta_{c,1}$	-0.97	-7.84	-0.965	-7.84	-0.97	-7.85
$\beta_{c,pt}$	-0.858	-2.78	-0.887	-2.87	-0.859	-2.79
β_f	-0.0838	-3.22	-0.0866	-3.26	-0.0838	-3.22
* β_{nt0}	0.57145	-	0.57256	-	0.57128	-
β_{nt1}	-0.0015	-0.01	-0.0046	-0.03	-0.0013	-0.01
β_{nt2}	-0.57	-4.4	-0.568	-4.38	-0.57	-4.4
* $\beta_{ch1,pt}$	0.8971	-			0.9657	-
$\beta_{ch2,pt}$	-1.08	-2.62			-1.05	-2.51
$\beta_{ch3,pt}$	-0.0391	-0.1			-0.0887	-0.21
$\beta_{ch4,pt}$	0.222	0.49			0.173	0.35
* $\beta_{nu,pt}$			0.18	-	-0.0849	-
$\beta_{u,pt}$			-0.18	-0.68	0.0849	0.25
σ_{ASC1}	1.39	5.52	1.57	5.9	1.39	5.51
σ_{ASC2}	0	-	0.439	1.47	0	-
σ_{ASC3}	0.429	1.19	0	-	0.434	1.22
Halton draws	1000		1000		1000	
K parameters	14		12		15	
N observations	522		522		522	
n individuals	59		59		59	
Init log-likelihood	-573.476		-573.476		-573.476	
Final log-likelihood	-343.339		-347.941		-343.307	
Adjusted rho-square	0.377		0.372		0.375	
Likelihood ratio test:	ML10- ASC2(RC)/ML1 0-ASC2- chG(RC)		ML10- ASC3(RC)/ML1 0-ASC3-uG(RC)		ML10- ASC2(RC)/ML1 0-ASC2-chG- uG(RC)	
-2 (LL(β_r)-LL(β))	9.646		0.464		9.71	
d.f.	3		1		4	
LRT l.v. (95%)	7.81473		3.84146		9.48773	
LR (MLASC10-MLi)	97.82%		50.42%		95.44%	

Tabla 5.19. Modelos ML-ASC2(RC) con variables de la sección PR de la encuesta: Exp. 2 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Por último, cabe destacar que los modelos ML finalmente considerados como los más apropiados para el estudio (es decir, los modelos ML10(EC), ML10-t1,pt(RC) y ML10-ASC2(RC)), no son directamente comparables entre sí, puesto que sus especificaciones son diferentes de forma que ninguno de ellos es un modelo restringido respecto a otro. Por este motivo se emplea el test de hipótesis no jerarquizadas para determinar cuál de ellos es el más adecuado para la evaluación del reparto modal, tal y como puede verse en el apartado 5.5.3.7.

5.4.2.4. Experimento 1 / Escenario B: influencia de coche disponible considerando atributo tipo de transporte público

MNL

Tal y como sucedía en la segunda línea de actuación (experimento 1/escenario A), el hecho de considerar la “categoría A” de la variable tipo de transporte público como específica para las alternativas correspondientes (modelo MNL11), conlleva mejoras significativas en la capacidad explicativa respecto al modelo de referencia (MNL13). Además, en el caso de Nantes los modelos en los que se introducen más restricciones sobre los atributos tiempo y coste (considerándolos genéricos para todas las alternativas, modelos MNL21 y MNL17, respectivamente), no pueden considerarse significativamente inferiores al modelo de referencia en vista de los resultados del test de razón de máxima verosimilitud (LR).

Sin embargo de nuevo se opta por el modelo MNL13 como el de referencia por los siguientes motivos:

- Tal y como se ha mencionado anteriormente, la definición del fenómeno *rail factor* implica cierta igualdad de condiciones en las alternativas de transporte público. A efectos de la especificación de la utilidad de estas alternativas esto es equivalente a considerar todas las variables influyentes como genéricas, si lo que se pretende es captar este efecto en las ASC correspondientes (*ASC2* y *ASC3*). Por este motivo no se considera el modelo MNL11 como referencia.
- Aunque el modelo MNL13 no mejora de forma significativa la capacidad explicativa de los modelos MNL17 y MNL21, estos presentan coeficientes genéricos para el coste, y para el coste y tiempo de forma conjunta, respectivamente. Es interesante especificar estos coeficientes como diferentes para el coche y para los modos de transporte público, ya que se corresponde

con lo teóricamente esperable (por ser distinta la experiencia de viaje y la posible existencia de correlación entre las alternativas de transporte público). Otro aspecto relacionado con estos modelos y por el que es interesante mantener la especificación del modelo MNL13 como la de referencia, es la posibilidad de calcular el valor subjetivo del tiempo (SVT) para el coche y para las alternativas de transporte público por separado (véase apartado 5.5.3.1.).

Model	MNL10		MNL11		MNL12		MNL13		MNL17		MNL21	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	0.732	1.28	0.729	1.27	0.66	1.17	0.656	1.16	0.46	1.01	-0.141	-0.82
ASC3	0.781	1.37	0.778	1.36	0.691	1.23	0.688	1.22	0.493	1.09	-0.102	-0.58
$\beta t,1$	-0.0891	-5.24	-0.0863	-5.16	-0.0905	-5.32	-0.0911	-5.47	-0.091	-5.45		
$\beta t,G$											-0.112	-13.2
$\beta t,pt$	-0.121	-11.4	-0.12	-11.3	-0.121	-11.4	-0.121	-11.4	-0.12	-11.5		
$\beta c,1$	-0.458	-6.63	-0.471	-6.92	-0.486	-7.11	-0.485	-7.13				
$\beta c,G$									-0.495	-7.5	-0.5	-7.54
$\beta c,pt$	-0.614	-2.79	-0.586	-2.68	-0.611	-2.77	-0.616	-2.82				
βf	-0.0338	-1.81	-0.0362	-1.95	-0.0353	-1.88	-0.0348	-1.88	-0.0344	-1.86	-0.0332	-1.82
* $\beta nt0$	0.446	-	0.456	-	0.474	-	0.473	-	0.472	-	0.482	-
$\beta nt1$	-0.141	-1.49	-0.149	-1.58	-0.139	-1.48	-0.137	-1.47	-0.135	-1.45	-0.143	-1.55
$\beta nt2$	-0.305	-3.18	-0.307	-3.2	-0.335	-3.53	-0.336	-3.55	-0.337	-3.56	-0.339	-3.61
$\beta ptA,2$	0.711	5.27	0.673	5.19								
$\beta ptB,2$	-0.275	-1.88			-0.154	-1.15						
* $\beta ptC,2$	-0.436	-										
$\beta ptA,3$	0.264	1.84	0.319	2.42								
$\beta ptB,3$	-0.0655	-0.44			-0.186	-1.32						
* $\beta ptC,3$	-0.1985	-										
$\beta ptA,pt$					0.502	4.99	0.501	4.99	0.506	5.07	0.512	5.16
$\beta ptB,pt$			-0.172	-1.7			-0.169	-1.67	-0.172	-1.7	-0.182	-1.82
* $\beta ptC,pt$							-0.332	-	-0.334	-	-0.33	-
K parameters	13		12		12		11		10		9	
N observations	679		679		679		679		679		679	
Init log-likelihood	-745.958		-745.958		-745.958		-745.958		-745.958		-745.958	
Final log-likelihood	-587.085		-587.57		-589.799		-589.813		-589.983		-591.013	
Adjusted rho-square	0.196		0.196		0.193		0.195		0.196		0.196	
Likelihood ratio test:	MNL13/MNL10	MNL13/MNL11	MNL13/MNL12						MNL17/MNL13	MNL21/MNL13		
-2 (LL(β_r)-LL(β))	5.456	4.486	0.028					0.34	2.4			
d.f.	2	1	1					1	2			
LRT I.v. (95%)	5.99146	3.84146	3.84146					3.84146	5.99146			
LR (MNL13-MNLi)	93.47%	96.58%	13.29%					x	x			
LR (MNLi-MNL13)	x	x	x					44.02%	69.88%			

Tabla 5.20. Selección de modelos MNL a partir de la especificación base: Exp. 1 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Para el modelo MNL13 se obtienen coeficientes con signos y magnitudes relativas intuitivamente correctas. En este caso las ASC de las alternativas de transporte público no son significativamente distintas de cero.

En cuanto a los modelos por PARES, solamente el modelo MNL13-ptA aporta mejoras significativas en la capacidad explicativa sobre el modelo de referencia (MNL13). Este modelo es equivalente al MNL11, y por tanto el coeficiente de la “categoría A” del tipo de transporte público es el único candidato a ser específico (véase anexo A16).

Por último, y como sucedía en los casos anteriores, los modelos en los que se considera la variable elección de modo PR son superiores al de referencia (MNL13), ya sea de forma individual (MNL13-chS y MNL13-chG), o conjuntamente con la experiencia previa con la red de transporte público (MNL13-chS-uS y MNL13-chG-uG).

Model	MNL13-chS		MNL13-chG		MNL13-uS		MNL13-uG		MNL13-chS-uS		MNL13-chG-uG	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	0.415	0.71	0.431	0.74	0.656	1.16	0.665	1.18	0.471	0.8	0.519	0.89
ASC3	0.539	0.92	0.479	0.82	0.743	1.31	0.697	1.24	0.683	1.16	0.565	0.97
$\beta t,1$	-0.103	-5.84	-0.104	-5.91	-0.0904	-5.43	-0.0909	-5.46	-0.103	-5.8	-0.104	-5.88
$\beta t,pt$	-0.123	-11.4	-0.124	-11.5	-0.12	-11.4	-0.121	-11.4	-0.123	-11.4	-0.124	-11.5
$\beta c,1$	-0.512	-7.19	-0.512	-7.21	-0.485	-7.11	-0.485	-7.13	-0.514	-7.19	-0.514	-7.21
$\beta c,pt$	-0.64	-2.85	-0.635	-2.84	-0.62	-2.84	-0.616	-2.82	-0.643	-2.86	-0.636	-2.84
βf	-0.0371	-1.98	-0.0353	-1.89	-0.0371	-1.99	-0.0347	-1.87	-0.0385	-2.04	-0.0349	-1.87
* $\beta nt0$	0.487	-	0.477	-	0.486	-	0.473	-	0.496	-	0.477	-
$\beta nt1$	-0.136	-1.44	-0.133	-1.41	-0.145	-1.54	-0.137	-1.47	-0.142	-1.49	-0.132	-1.4
$\beta nt2$	-0.351	-3.64	-0.344	-3.59	-0.341	-3.58	-0.336	-3.55	-0.354	-3.66	-0.345	-3.6
$\beta ptA,pt$	0.517	5.04	0.518	5.07	0.492	4.9	0.501	4.99	0.509	4.95	0.517	5.06
$\beta ptB,pt$	-0.172	-1.66	-0.179	-1.75	-0.158	-1.56	-0.168	-1.67	-0.162	-1.57	-0.177	-1.72
* $\beta ptC,pt$	-0.345	-	-0.339	-	-0.334	-	-0.333	-	-0.347	-	-0.34	-
* $\beta ch1,2$	0.297	-							0.216	-		
$\beta ch2,2$	-1.23	-5.4							-1.26	-5.41		
$\beta ch3,2$	0.387	2.24							0.439	2.24		
$\beta ch4,2$	0.546	2.31							0.605	2.34		
* $\beta ch1,3$	0.3251	-							-0.037	-		
$\beta ch2,3$	-1.07	-5.17							-1.23	-5.55		
$\beta ch3,3$	-0.0471	-0.27							0.197	0.96		
$\beta ch4,3$	0.792	3.51							1.07	4.2		
* $\beta ch1,pt$			0.306	-							0.074	-
$\beta ch2,pt$			-1.15	-6.65							-1.24	-6.86
$\beta ch3,pt$			0.175	1.2							0.326	1.97
$\beta ch4,pt$			0.669	3.39							0.84	3.87
* $\beta nu,2$					-0.0808	-			0.0901	-		
$\beta u,2$					0.0808	0.74			-0.0901	-0.55		
* $\beta nu,3$					0.129	-			0.397	-		
$\beta u,3$					-0.129	-1.2			-0.397	-2.48		
* $\beta nu,pt$							0.0259	-			0.254	-
$\beta u,pt$							-0.0259	-0.29			-0.254	-1.94
K parameters	17		14		13		12		19		15	
N observations	679		679		679		679		679		679	
Init log-likelihood	-745.958		-745.958		-745.958		-745.958		-745.958		-745.958	
Final log-likelihood	-563.084		-565.708		-588.291		-589.771		-559.892		-563.815	
Adjusted rho-square	0.222		0.223		0.194		0.193		0.224		0.224	
Likelihood ratio test:	MNL13/MNL13-chS	MNL13/MNL13-chG	MNL13/MNL13-uS	MNL13/MNL13-uG	MNL13/MNL13-chS-uS	MNL13/MNL13-chG-uG						
-2 (LL(Br)-LL(β))	53.458	48.21	3.044	0.084	59.842	51.996						
d.f.	6	3	2	1	8	4						
LRT I.v. (95%)	12.59159	7.81473	5.99146	3.84146	15.50731	9.48773						
LR (MNL13-MNLI)	100.00%	100.00%	78.17%	22.81%	100.00%	100.00%						
Likelihood ratio test:		MNL13-chG/MNL13-chS		MNL13-uG/MNL13-uS		MNL13-chG-uG/MNL13-chS-uS						
-2 (LL(Br)-LL(β))		5.248		2.96		7.846						
d.f.		3		1		4						
LRT I.v. (95%)		7.81473		3.84146		9.48773						
LR (MNLG-MNLS)		84.55%		91.47%		90.26%						

Tabla 5.21. Modelos MNL con variables de la sección PR de la encuesta: Exp. 1 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

De nuevo, los usuarios de coche para el desplazamiento PR tienden a elegir coche en el ejercicio PD ($\beta_{ch2,j}<0$), mientras que los usuarios de un modo no motorizado PR tienden a elegir transporte público en el cuestionario PD ($\beta_{ch1,j}<0$). En este caso también se observa una tendencia de los usuarios de modo ferroviario PR a elegir un modo de transporte público PD ($\beta_{ch4,3}$; $\beta_{ch4,4}$ y $\beta_{ch4,pt}$), mientras que los usuarios de autobús en el desplazamiento PD son mucho más proclives a repetir modo en el desplazamiento PD ($\beta_{ch3,3}$) que a elegir modo ferroviario ($\beta_{ch3,4}$).

NL

Se reproducen los mismos patrones que en los modelos MNL de esta línea de actuación, tanto para los modelos a partir de la especificación base, como para los modelos por PARES. Lo mismo sucede también para los modelos que contienen variables de la sección PR de la encuesta (véase anexo A16).

Model	NL10		NL11		NL12		NL13		NL17		NL21	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	0.231	0.38	0.232	0.38	0.144	0.23	0.142	0.23	0.0998	0.21	-0.0567	-0.39
ASC3	0.283	0.47	0.286	0.46	0.191	0.31	0.189	0.31	0.147	0.31	-0.0086	-0.06
$\beta_{t,1}$	-0.09	-5.42	-0.0874	-5.32	-0.0911	-5.47	-0.0914	-5.58	-0.0914	-5.58		
$\beta_{t,G}$											-0.0958	-8.81
$\beta_{t,pt}$	-0.0994	-6.05	-0.0994	-6.03	-0.1	-6.17	-0.1	-6.18	-0.0996	-6.45		
$\beta_{c,1}$	-0.444	-6.5	-0.456	-6.75	-0.469	-6.9	-0.469	-6.92				
$\beta_{c,G}$									-0.47	-7.11	-0.468	-7.11
$\beta_{c,pt}$	-0.519	-2.52	-0.491	-2.38	-0.489	-2.3	-0.492	-2.33				
β_f	-0.0242	-1.57	-0.0265	-1.71	-0.0253	-1.63	-0.025	-1.64	-0.0248	-1.65	-0.0237	-1.67
* β_{nt0}	0.3609	-	0.374	-	0.3884	-	0.3872	-	0.3861	-	0.3767	-
β_{nt1}	-0.0999	-1.27	-0.108	-1.35	-0.0964	-1.22	-0.0952	-1.22	-0.0941	-1.22	-0.0917	-1.23
β_{nt2}	-0.261	-3.17	-0.266	-3.23	-0.292	-3.58	-0.292	-3.6	-0.292	-3.61	-0.285	-3.71
$\beta_{ptA,2}$	0.61	4.64	0.582	4.58								
$\beta_{ptB,2}$	-0.237	-1.93			-0.13	-1.17						
* $\beta_{ptC,2}$	-0.373	-										
$\beta_{ptA,3}$	0.229	1.84	0.287	2.52								
$\beta_{ptB,3}$	-0.0478	-0.39			-0.147	-1.25						
* $\beta_{ptC,3}$	-0.1812	-										
$\beta_{ptA,pt}$					0.438	4.55	0.437	4.56	0.436	4.57	0.428	4.69
$\beta_{ptB,pt}$			-0.146	-1.69			-0.138	-1.61	-0.138	-1.62	-0.136	-1.64
* $\beta_{ptC,pt}$							-0.299	-	-0.298	-	-0.292	-
λ_{nest1}	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-
** λ_{nestpt}	1.36	1.35	1.34	1.31	1.35	1.32	1.35	1.32	1.36	1.41	1.41	1.84
K parameters	14		13		13		12		11		10	
N observations	679		679		679		679		679		679	
Init log-likelihood	-745.449		-745.449		-745.449		-745.449		-745.449		-745.449	
Final log-likelihood	-585.77		-586.352		-588.558		-588.565		-588.571		-588.633	
Adjusted rho-square	0.196		0.197		0.194		0.195		0.196		0.197	
Likelihood ratio test:												
-2 (LL(Br)-LL(β))	NL13/NL10		NL13/NL11		NL13/NL12				NL17/NL13		NL21/NL13	
d.f.	5.59		4.426		0.014				0.012		0.136	
LRT I.v. (95%)	2		1		1				1		2	
LR (NL13-NL1)	5.99146		3.84146		3.84146				3.84146		5.99146	
LR (NL13-NL1)	93.89%		96.46%		9.42%				x		x	
LR (NL13-NL13)	x		x		x				8.72%		6.57%	

Tabla 5.22. Selección de modelos NL a partir de la especificación base: Exp. 1 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

** El test-t realizado para el parámetro de nido λ_{nestpt} se calcula respecto a 1 siendo además un test de una cola

Al contrario de lo que sucedía para el experimento 2/escenario B, en este caso el parámetro de nido no es significativamente diferente de 1 para la mayor parte de los modelos (solamente es significativo para el modelo NL21). Por este motivo no puede afirmarse que exista una correlación entre las alternativas de transporte público para el modelo NL de referencia (NL13). En la tabla siguiente se muestra la comparación entre los modelos MNL13 y NL13, pudiendo apreciarse que con el modelo NL13 no se obtienen mejoras significativas en la capacidad explicativa respecto al modelo MNL13 (test LR<95%).

Model	MNL13		NL13	
	Value	t-test	Value	t-test
<i>Coefficient</i>				
ASC1	0	-	0	-
ASC2	0.656	1.16	0.142	0.23
ASC3	0.688	1.22	0.189	0.31
$\beta_{t,1}$	-0.0911	-5.47	-0.0914	-5.58
$\beta_{t,pt}$	-0.121	-11.4	-0.1	-6.18
$\beta_{c,1}$	-0.485	-7.13	-0.469	-6.92
$\beta_{c,pt}$	-0.616	-2.82	-0.492	-2.33
β_f	-0.0348	-1.88	-0.025	-1.64
* β_{nt0}	0.473	-	0.3872	-
β_{nt1}	-0.137	-1.47	-0.0952	-1.22
β_{nt2}	-0.336	-3.55	-0.292	-3.6
$\beta_{ptA,pt}$	0.501	4.99	0.437	4.56
$\beta_{ptB,pt}$	-0.169	-1.67	-0.138	-1.61
* $\beta_{ptC,pt}$	-0.332	-	-0.299	-
λ_{nest1}			1	-
** λ_{nestpt}			1.35	1.32
K parameters	11		12	
N observations	679		679	
Init log-likelihood	-745.958		-745.449	
Final log-likelihood	-589.813		-588.565	
Adjusted rho-square	0.195		0.195	
Likelihood ratio test:			MNL13/NL13	
-2 (LL(β_r)-LL(β))			2.496	
d.f.			1	
LRT l.v. (95%)			3.84146	
LR (MNL13-NL13)			88.59%	

Tabla 5.23. Comparación de modelos MNL y NL de referencia: Exp. 1 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

** El test-t realizado para el parámetro de nido λ_{nestpt} se calcula respecto a 1 siendo además un test de una cola

ML (EC)

La estimación de modelos ML en su versión como componentes de error conduce a los mismos patrones que los modelos NL correspondientes a esta línea de actuación (véase anexo A16). Puede apreciarse que la desviación aleatoria común a los modos públicos (σ_{pt}) es significativamente distinta de cero en todos los modelos.

Model	ML10(EC)		ML11(EC)		ML12(EC)		ML13(EC)		ML17(EC)		ML21(EC)	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	-0.0305	-0.04	-0.0526	-0.07	-0.157	-0.22	-0.159	-0.22	-0.0401	-0.07	-0.111	-0.37
ASC3	0.0252	0.03	0.00453	0.01	-0.106	-0.15	-0.109	-0.15	0.00901	0.02	-0.0617	-0.2
$\beta t,1$	-0.139	-6.2	-0.136	-6.14	-0.141	-6.3	-0.142	-6.44	-0.142	-6.45		
$\beta t,G$											-0.144	-13.4
$\beta t,pt$	-0.145	-11.6	-0.144	-11.6	-0.145	-11.7	-0.145	-11.8	-0.145	-11.8		
$\beta c,1$	-0.691	-7.57	-0.706	-7.84	-0.724	-7.99	-0.723	-8				
$\beta c,pt$	-0.668	-2.6	-0.628	-2.47	-0.639	-2.49	-0.646	-2.54				
βf	-0.0276	-1.4	-0.0303	-1.55	-0.0301	-1.53	-0.0296	-1.52	-0.0298	-1.53	-0.0296	-1.52
* $\beta nt0$	0.542	-	0.555	-	0.574	-	0.573	-	0.572	-	0.572	-
$\beta nt1$	-0.141	-1.38	-0.149	-1.45	-0.137	-1.34	-0.135	-1.33	-0.137	-1.35	-0.137	-1.36
$\beta nt2$	-0.401	-3.83	-0.406	-3.88	-0.437	-4.23	-0.438	-4.24	-0.435	-4.24	-0.435	-4.24
$\beta ptA,2$	0.879	5.71	0.839	5.62								
$\beta ptB,2$	-0.283	-1.75			-0.144	-0.98						
* $\beta ptC,2$	-0.596	-										
$\beta ptA,3$	0.39	2.33	0.464	3.08								
$\beta ptB,3$	-0.0443	-0.27			-0.179	-1.14						
* $\beta ptC,3$	-0.3457	-										
$\beta ptA,pt$					0.658	5.6	0.656	5.62	0.652	5.63	0.653	5.64
$\beta ptB,pt$			-0.168	-1.48			-0.16	-1.42	-0.158	-1.4	-0.159	-1.42
* $\beta ptC,pt$							-0.496	-	-0.494	-	-0.494	-
opt	1.98	7.61	1.98	7.62	1.98	7.62	1.99	7.62	1.98	7.64	1.98	7.7
ECpt	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Halton draws	1000		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	14		13		13		12		11		10	
N observations	679		679		679		679		679		679	
n individuals	77		77		77		77		77		77	
Init log-likelihood	-692.837		-692.837		-692.837		-692.837		-692.837		-692.837	
Final log-likelihood	-517.736		-518.241		-520.239		-520.254		-520.295		-520.305	
Adjusted rho-square	0.287		0.288		0.285		0.286		0.288		0.289	
Likelihood ratio test:	ML13(EC)/ML10 (EC)	ML13(EC)/ML11 (EC)	ML13(EC)/ML12 (EC)				ML17(EC)/ML13 (EC)	ML21(EC)/ML13 (EC)				
-2 (LL(Br)-LL(β))	5.036	4.026	0.03				0.082	0.102				
d.f.	2	1	1				1	2				
LRT I.v. (95%)	5.99146	3.84146	3.84146				3.84146	5.99146				
LR (ML13-MLi)	91.94%	95.52%	13.75%				x	x				
LR (MLi-ML13)	x	x	x				22.54%	4.97%				

Tabla 5.24. Selección de modelos ML(EC) a partir de la especificación base: Exp. 1 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

En este caso el modelo ML13(EC) aporta mejoras significativas en la capacidad explicativa del modelo MNL13. Dadas las mejoras presentes en los valores de la log-verosimilitud puede concluirse que la correlación entre observaciones juega en este caso un papel importante, mientras que no puede asegurarse que la correlación entre alternativas de transporte público sea determinante (teniendo en cuenta los resultados del anterior modelo NL13).

Model	MNL13		ML13(EC)	
	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient				
ASC1	0	-	0	-
ASC2	0.656	1.16	-0.159	-0.22
ASC3	0.688	1.22	-0.109	-0.15
$\beta_{t,1}$	-0.0911	-5.47	-0.142	-6.44
$\beta_{t,pt}$	-0.121	-11.4	-0.145	-11.8
$\beta_{c,1}$	-0.485	-7.13	-0.723	-8
$\beta_{c,pt}$	-0.616	-2.82	-0.646	-2.54
β_f	-0.0348	-1.88	-0.0296	-1.52
* β_{nt0}	0.473	-	0.573	-
β_{nt1}	-0.137	-1.47	-0.135	-1.33
β_{nt2}	-0.336	-3.55	-0.438	-4.24
$\beta_{ptA,pt}$	0.501	4.99	0.656	5.62
$\beta_{ptB,pt}$	-0.169	-1.67	-0.16	-1.42
* $\beta_{ptC,pt}$	-0.332	-	-0.496	-
σ_{pt}			1.99	7.62
ECpt			0	-
Halton draws	-		1000	
K parameters	11		12	
N observations	679		679	
n individuals	679		77	
lnit log-likelihood	-745.958		-692.837	
Final log-likelihood	-589.813		-520.254	
Adjusted rho-square	0.195		0.286	
Likelihood ratio test:			MNL13 /	
			ML13(EC)	
-2 (LL(β_r)-LL(β))			139.118	
d.f.			1	
LRT l.v. (95%)			3.84146	
LR (MNL13-ML13EC)			100.00%	

Tabla 5.25. Comparación de modelos MNL y ML(EC) de referencia: Exp. 1 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

ML (RC)

Tal y como sucede en los casos anteriores, la mayor parte de los modelos estimados en los que se permite la variación aleatoria de 1 o varios coeficientes son superiores al modelo MNL de referencia (MNL13).

De nuevo, los modelos en los que se considera variación aleatoria en el tiempo de viaje (ML13-t1(RC), ML13-t1,pt(RC) y ML13-t123(RC)) presentan unos de los mayores valores de la log-verosimilitud. También destacan algunos modelos con desviaciones en los coeficientes de los atributos categóricos de la sección PR de la encuesta: en este caso los modelos con variaciones aleatorias en la elección de modo PR (ML13-ch3ptG(RC) y ML13-ch234ptG(RC)) muestran una preferencia por el transporte público en el ejercicio PD por parte de los usuarios de transporte no motorizado ($\beta_{ch1,pt} > 0$) y transporte ferroviario PR ($\beta_{ch3,pt} > 0$ y $\beta_{ch4,pt} > 0$), mientras que usuarios

del coche en el desplazamiento PR tienden a repetir su elección en el ejercicio PD ($\beta_{ch2,pt} < 0$). La experiencia previa con la red de transporte público PR presenta una gran variabilidad, aunque no puede estimarse su influencia en la elección de forma significativa (modelo ML13-uptG(RC)).

Model	ML13-t1(RC)		ML13-t1,pt(RC)		ML13-t123(RC)		ML13-ch3ptG(RC)		ML13-ch234ptG(RC)		ML13-uptG(RC)	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	-0.403	-0.58	0.176	0.23	-0.244	-0.32	0.051	0.08	-0.151	-0.21	-0.13	-0.18
ASC3	-0.349	-0.51	0.253	0.34	-0.131	-0.17	0.098	0.15	-0.0967	-0.14	-0.0794	-0.11
$\beta_{t,1}$	-0.161	-6.01	-0.148	-5.45	-0.164	-5.98	-0.13	-6.3	-0.143	-6.48	-0.142	-6.43
$\beta_{t,2}$					-0.159	-7.87						
$\beta_{t,3}$					-0.158	-7.46						
$\beta_{t,pt}$	-0.144	-11.7	-0.176	-9.82			-0.14	-11.7	-0.145	-11.7	-0.145	-11.8
$\beta_{c,1}$	-0.693	-7.83	-0.725	-7.82	-0.71	-7.82	-0.663	-7.86	-0.722	-7.98	-0.723	-8.01
$\beta_{c,pt}$	-0.615	-2.44	-0.645	-2.44	-0.65	-2.49	-0.642	-2.62	-0.657	-2.59	-0.645	-2.54
β_f	-0.0308	-1.58	-0.0309	-1.52	-0.0302	-1.44	-0.0304	-1.58	-0.0299	-1.54	-0.0296	-1.51
* β_{nt0}	0.53	-	0.529	-	0.55	-	0.551	-	0.571	-	0.574	-
β_{nt1}	-0.107	-1.06	-0.14	-1.33	-0.115	-1.08	-0.129	-1.3	-0.136	-1.34	-0.135	-1.32
β_{nt2}	-0.423	-4.12	-0.389	-3.68	-0.435	-4.05	-0.422	-4.16	-0.435	-4.21	-0.439	-4.25
$\beta_{ptA,pt}$	0.626	5.48	0.654	5.46	0.679	5.6	0.622	5.52	0.652	5.59	0.657	5.62
$\beta_{ptB,pt}$	-0.144	-1.27	-0.18	-1.48	-0.177	-1.5	-0.166	-1.51	-0.161	-1.43	-0.16	-1.42
* $\beta_{ptC,pt}$	-0.482	-	-0.474	-	-0.502	-	-0.456	-	-0.491	-	-0.497	-
* $\beta_{ch1,pt}$							0.509	-	0.569	-		
$\beta_{ch2,pt}$							-1.33	-5.74	-1.52	-4.25		
$\beta_{ch3,pt}$							0.159	0.46	0.133	0.36		
$\beta_{ch4,pt}$							0.662	2.64	0.818	2.04		
* $\beta_{nu,pt}$											0.0988	-
$\beta_{u,pt}$											-0.0988	-0.37
σ_{t1}	0.102	7.28	0.103	3.59	0.106	6.99						
σ_{t2}					0.0352	3.95						
σ_{t3}					0.00751	0.2						
σ_{tpt}			0.0864	4.39								
σ_{ch2pt}									1.2	3.27		
σ_{ch3pt}							1.89	6.2	1.81	5.5		
σ_{ch4pt}									1.22	3.04		
σ_{upt}											1.99	7.61
Correlation ($\beta_{i2}-\beta_{i3}$)	0.0203	-0.58	0.0958	0.88	0.0163	-0.05						
Halton draws	1000		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	12		13		15		15		17		13	
N observations	679		679		679		679		679		679	
n individuals	77		77		77		77		77		77	
Init log-likelihood	-809.522		-836.031		-895.424		-717.266		-692.909		-692.805	
Final log-likelihood	-523.778		-512.491		-518.164		-522.653		-513.37		-520.187	
Adjusted rho-square	0.282		0.296		0.285		0.279		0.289		0.285	
Likelihood ratio test:	MNL13/ML13-t1(RC)	MNL13/ML13-t1,pt(RC)	MNL13/ML13-t123(RC)	MNL13/ML13-ch3ptG(RC)	MNL13/ML13-ch234ptG(RC)	MNL13/ML13-uptG(RC)						
-2 (LL(β_r)-LL(β))	132.07	154.644	143.298	134.32	152.886	139.252						
d.f.	1	2	4	4	6	2						
LRT I.v. (95%)	3.84146	5.99146	9.48773	9.48773	12.59159	5.99146						
LR (MNL13-MLi)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%						

Tabla 5.26. Selección de modelos ML(RC): Exp. 1 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

El modelo ML(RC) de este tipo que de nuevo se toma como modelo de referencia es aquel en el que se estima la variación aleatoria de forma genérica para el transporte público permitiendo también la variación del tiempo en coche (ML13-t1pt(RC)), puesto

que además de ser el que presenta un valor mayor de la log-verosimilitud, con él se continúa con la tendencia seguida en las anteriores líneas de actuación.

En lo que respecta a los modelos en los que se permite variación aleatoria asociada a alguna de las ASC, se procede de forma análoga a la del apartado anterior. En este caso se observa cómo el tomar la desviación asociada a la ASC del coche como la de referencia (ML13-ASC1(RC)) produce una pérdida importante de log-verosimilitud. El modelo que se toma como el más adecuado en este caso para valorar la posible heterogeneidad asociada a las ASC es el modelo MNL13-ASC2(RC), para el que se fija la variación aleatoria asociada a la ASC del autobús igual a cero (σ_{ASC2}).

Model	ML13-ASCid(RC)		ML13-ASC1(RC)		ML13-ASC2(RC)		ML13-ASC3(RC)	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient								
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	-0.0071	-0.01	0.627	0.93	-0.0077	-0.01	-0.0615	-0.08
ASC3	-0.0196	-0.03	0.61	0.89	-0.0246	-0.03	0.0157	0.02
$\beta_{t,1}$	-0.144	-6.43	-0.123	-5.97	-0.145	-6.44	-0.145	-6.47
$\beta_{t,pt}$	-0.156	-11.4	-0.162	-11.4	-0.156	-11.4	-0.154	-11.3
$\beta_{c,1}$	-0.745	-8.07	-0.653	-7.68	-0.745	-8.07	-0.738	-8.03
$\beta_{c,pt}$	-0.678	-2.6	-0.725	-2.88	-0.677	-2.6	-0.679	-2.62
β_f	-0.0298	-1.46	-0.0372	-1.68	-0.0298	-1.45	-0.0301	-1.48
* β_{nt0}	0.593	-	0.595	-	0.593	-	0.593	-
β_{nt1}	-0.136	-1.29	-0.143	-1.3	-0.136	-1.29	-0.138	-1.32
β_{nt2}	-0.457	-4.26	-0.452	-4.06	-0.457	-4.26	-0.455	-4.27
$\beta_{ptA,pt}$	0.7	5.68	0.711	5.53	0.7	5.67	0.692	5.65
$\beta_{ptB,pt}$	-0.187	-1.58	-0.241	-1.96	-0.187	-1.58	-0.182	-1.55
* $\beta_{ptC,pt}$	-0.513	-	-0.47	-	-0.513	-	-0.51	-
σ_{ASC1}	1.99	7.52	0	-	1.99	7.55	2.05	7.52
σ_{ASC2}	0.146	0.31	1.45	6.87	0	-	0.707	3.4
σ_{ASC3}	0.784	3.52	1.71	6.69	0.797	3.87	0	-
Halton draws	1000		1000		1000		1000	
K parameters	14		13		13		13	
N observations	679		679		679		679	
n individuals	77		77		77		77	
Init log-likelihood	-745.958		-745.958		-745.958		-745.958	
Final log-likelihood	-516.035		-544.594		-516.08		-517.484	
Adjusted rho-square	0.289		0.253		0.291		0.289	

Tabla 5.27. Modelos ML(RC) con variación aleatoria en ASC: Exp. 1 / Esc. B, Nantes

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Para finalizar se recuerda que para tomar la decisión acerca de qué modelo ML es el más adecuado para el análisis del reparto modal, es necesario realizar los test de hipótesis no jerarquizadas (apartado 5.5.3.7.).

5.4.2.5. Conclusiones generales para el caso de Nantes

La conclusión más destacable es que no puede afirmarse a priori la existencia de una preferencia inherente hacia modos ferroviarios frente al autobús (*rail factor*), en la comunidad universitaria de la ciudad de Nantes.

Otras conclusiones que se extraen en líneas generales del análisis realizado (siendo algunas de ellas las que sustentan la anterior afirmación), son las siguientes:

- Si se considera el escenario A, la probabilidad de elección para las alternativas de transporte público en igualdad de condiciones es prácticamente la misma, variando la alternativa de transporte público preferida en función del experimento considerado. En cualquier caso, estas preferencias no son significativas.
- Apenas se obtienen valores significativos de las ASC, con excepción de los modelos MNL de la línea de actuación tercera (experimento 2/escenario B).
- Tanto los signos de los coeficientes como las magnitudes relativas de los mismos son las teóricamente esperables a priori.
- La introducción de la variable tipo de transporte público influye en las elecciones realizadas por los encuestados. La aportación a la utilidad de la “categoría A” para esta variable, cuando se considera como específica, es diferente en función de la alternativa de transporte público considerada, favoreciendo generalmente en mayor medida a la alternativa autobús que al modo ferroviario.

En todas las estimaciones analizadas, el hecho de considerar los coeficientes asociados a esta “categoría A” como específicos también mejora significativamente la capacidad explicativa del modelo de referencia correspondiente. Sin embargo esto no sucede para la “categoría B”, lo que podría indicar que existen diferencias en la forma de percibir estas categorías por parte de los encuestados, y que por tanto también podrían existir diferencias en la influencia que estas categorías tienen sobre su propia elección.

- En cuanto a los modelos en los que se consideran las variables de la sección PR de la encuesta, se aprecia que la elección de modo PR se muestra como más determinante en la capacidad explicativa de los modelos que la experiencia previa como usuario habitual de la red de transporte público PR. Esta elección de modo PR solamente es significativa para el experimento 1. Si

se considera el escenario B, los modelos en los que se especifican estas variables PR de forma específica no mejoran significativamente la capacidad explicativa de los modelos en los que se consideran como genéricas.

- La elección de modo PR de coche tiende a favorecer su elección de nuevo en el modo PD, mientras que la elección de no motorizado PR favorece la elección de transporte público PD de forma general (siempre hablando del experimento 1, donde su influencia en la elección es significativa). En cuanto a la elección de modo de transporte público PR deben hacerse distinciones en función del escenario considerado:
 - Escenario A: la elección PR de un modo de transporte público favorece a ese mismo modo en la elección PD (y por tanto perjudica a la otra alternativa de transporte público).
 - Escenario B: de nuevo la elección PR de transporte público favorece a ese mismo modo en la elección PD. Sin embargo, en este caso la elección de modo ferroviario PD también favorece la elección de autobús PD (aunque en menor medida que al propio modo ferroviario PD), mientras que la elección de autobús PR no favorece en absoluto la elección de modo ferroviario PD.

Para finalizar se muestran las conclusiones particulares correspondientes a cada tipología de modelo:

- En la mayor parte de estimaciones MNL se encuentran las mismas tendencias que en las estimaciones NL y ML correspondientes. Los modelos considerados como referencia presentan especificaciones con coeficientes genéricos para las alternativas de transporte público (MNL10 y MNL13, para el experimento 2 y 1, respectivamente).
- Si se consideran los resultados obtenidos en los modelos NL una vez introducida la alternativa coche, solamente puede concluirse que existe una correlación significativa entre las alternativas de transporte público en el experimento 2 (línea de actuación tercera). Por el contrario si se considera la variable tipo de transporte público como influyente en la elección (experimento 1, línea de actuación cuarta), no puede concluirse de forma significativa que esta correlación exista basándose en esta tipología de modelos.
- También parece evidente que existe una correlación significativa entre observaciones pertenecientes a un mismo individuo (que han sido tratadas como datos de panel), que es independiente del experimento considerado, en vista de los resultados obtenidos para todos los modelos ML(EC).

- En cuanto a los modelos ML con coeficientes aleatorios (ML(RC)), la mayor log-verosimilitud se obtiene generalmente con aquellos que presentan variación aleatoria en los valores del tiempo. Estos son los modelos de esta tipología que se toman como referencia (ML-tpt(RC) para el escenario A y ML-t1,pt(RC) para el escenario B). En la mayor parte de los modelos ML(RC) estimados se pone de manifiesto la existencia de heterogeneidad en los gustos de los individuos.
- Mediante los modelos en los que se permite una variación aleatoria en las ASC (ML-ASCi(RC)), es decir, heteroscedasticidad entre alternativas, se ha determinado que la valoración de la alternativa autobús es la de menor variabilidad en esta población ($ASC2, \sigma_{ASC2}$), mientras que la constante de coche es la que presenta mayor variabilidad ($ASC1, \sigma_{ASC1}$).

5.4.3. Resumen de resultados por localización

A continuación se muestran los principales resultados de las modelizaciones realizadas para cada una de las localizaciones con las observaciones de la encuesta final (y por lo tanto, para la ciudad de A Coruña se consideran en este apartado los datos pertenecientes a la primera campaña de encuestas, denominada como A Coruña 1 o UDC 1). Debido a la gran cantidad de estimaciones realizadas, se han seleccionado los resultados de los modelos considerados como los más representativos del fenómeno estudiado, y de aquellos que aportan información clave en la interpretación del mismo. Todos los resultados correspondientes a las diferentes localizaciones se muestran en los anexos correspondientes (ciudades de Nantes, Valenciennes, Clermont-Ferrand, Lille, A Coruña 1 y Vitoria-Gasteiz, anexos del A16 al A21, respectivamente).

5.4.3.1. Experimento 2 / Escenario A: definición de *rail factor*

MNL

En la siguiente tabla pueden verse los modelos de referencia pertenecientes a esta línea de actuación para todas las ubicaciones consideradas (MNL10). Cabe señalar que solamente en 3 casos la ASC del modo ferroviario ($ASC3$) es distinta de cero de forma significativa (Valenciennes, A Coruña y Vitoria-Gasteiz, indicados en negrita). Estos valores son mayores o menores que cero en función de la localización (valores positivos en Valenciennes, Clermont-Ferrand y Lille; y valores negativos en Nantes, A Coruña y Vitoria-Gasteiz), siendo en los casos españoles estudiados siempre menores

que cero. También puede destacarse que en todas las estimaciones presentadas en la siguiente tabla se obtienen coeficientes con signos y magnitudes relativas teóricamente esperables o correctas.

Model MNL10	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT-FERRAND		LILLE		A CORUÑA		VITORIA-GASTEIZ	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	-0.105	-0.84	0.389	3.37	0.134	1.22	0.0224	0.32	-0.808	-12.2	-0.179	-2.22
$\beta_{t,pt}$	-0.177	-10.3	-0.125	-8.71	-0.135	-9.45	-0.159	-15.9	-0.107	-15.6	-0.0899	-9.93
$\beta_{c,pt}$	-1.72	-4.34	-1.38	-3.74	-1.05	-3.02	-1.72	-7.3	-2.33	-9.06	-1.44	-5.45
β_f	-0.109	-4.7	-0.0194	-1.12	-0.0752	-4.3	-0.0777	-6.73	-0.0639	-6.37	-0.0196	-1.6
* β_{nt0}	0.481	-	0.3736	-	0.306	-	0.334	-	0.53833	-	0.3666	-
β_{nt1}	0.191	1.62	-0.0926	-0.94	0.025	0.26	0.11	1.7	0.00567	0.11	0.0794	1.19
β_{nt2}	-0.672	-5.88	-0.281	-2.84	-0.331	-3.39	-0.444	-6.74	-0.544	-10.5	-0.446	-6.32
K parameters	6		6		6		6		6		6	
N observations	530		457		504		1334		1725		831	
Init log-likelihood	-367.368		-316.768		-349.346		-924.658		-1195.679		-576.005	
Final log-likelihood	-211.866		-239.403		-256.846		-624.936		-829.246		-463.555	
Adjusted rho-square	0.407		0.225		0.248		0.318		0.301		0.185	

Tabla 5.28. Modelos MNL de referencia para diferentes localizaciones: Exp. 2 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

De los modelos que contienen variables de la sección PR de la encuesta se desprende que la elección de modo PR ofrece una mayor capacidad explicativa que la experiencia previa con la red de transporte PR. Sin embargo las mejoras que ofrecen solamente son significativas en los casos de Lille, A Coruña y Vitoria-Gasteiz (según los resultados de los test LR), siendo destacable que en el primer caso el valor de la ASC para el modo ferroviario es ahora significativamente distinto de cero y negativo. Tal y como se ha comentado previamente, el hecho de que los valores de los coeficientes de estas categorías no sean significativamente distintos de cero para alguna de las localizaciones, no significa que la elección de modo PR no influya significativamente en la elección. Sin embargo esta influencia o aportación a la utilidad no puede estimarse.

Se observa en la tabla siguiente que únicamente en el modelo correspondiente a Lille los coeficientes asociados a las diferentes categorías de este atributo ($\beta_{chi,3}$) son significativamente distintos de cero, favoreciendo la elección PR de vehículo privado a la elección de modo ferroviario en el ejercicio PD. Por el contrario, la elección PR de modo no motorizado en esta localización perjudica a la elección PD de modo ferroviario (esta tendencia es la contraria a la vista en el resto de localizaciones, en las que ($\beta_{ch1,3} > 0$)). Finalmente, y como es de esperar, la elección PR de autobús favorece

a este modo en la elección PD (al igual que en el resto de localizaciones). Lo mismo sucede para los modos ferroviarios, donde su elección PR favorece la elección PD de los mismos (aunque en este caso se da que $\beta_{ch4,3} > 0$ en Lille y en Clermont-Ferrand).

Model MNL10-ch	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT-FERRAND		LILLE		A CORUÑA		VITORIA-GASTEIZ	
Coefficient	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	-0.144	-1.11	0.399	3.42	-0.021	-0.13	-0.264	-2.75	-0.733	-1.5	-0.213	-2.45
$\beta_{t,pt}$	-0.179	-10.4	-0.127	-8.74	-0.136	-9.4	-0.162	-15.9	-0.107	-15.7	-0.0925	-10.1
$\beta_{c,pt}$	-1.77	-4.45	-1.39	-3.74	-1.05	-3.01	-1.76	-7.37	-2.35	-9.09	-1.48	-5.5
β_f	-0.109	-4.67	-0.0193	-1.11	-0.0783	-4.4	-0.0788	-6.73	-0.0641	-6.36	-0.0188	-1.52
* β_{nt0}	0.475	-	0.3824	-	0.3098	-	0.341	-	0.54127	-	0.286	-
β_{nt1}	0.2	1.69	-0.0964	-0.98	0.0262	0.27	0.113	1.72	0.00673	0.13	0.259	1.29
β_{nt2}	-0.675	-5.91	-0.286	-2.86	-0.336	-3.43	-0.454	-6.81	-0.548	-10.5	-0.545	-4.48
* $\beta_{ch1,3}$	0.3213	-	0.026	-	0.104	-	-0.128	-	0.8721	-	0.415	-
$\beta_{ch2,3}$	-0.107	-0.47	0.273	1.7	0.259	1.22	0.374	2.58	-0.0721	-0.14	0.024	0.16
$\beta_{ch3,3}$	-0.174	-0.82	0	-	-0.873	-2.21	-0.711	-3.39	-0.133	-0.27	-0.331	-2.43
$\beta_{ch4,3}$	-0.0403	-0.16	-0.299	-1.88	0.51	1.84	0.465	3.99	-0.667	-0.44	-0.108	-0.6
K parameters	9		8		9		9		9		9	
N observations	530		457		504		1334		1725		831	
Init log-likelihood	-367.368		-316.768		-349.346		-924.658		-1195.679		-576.005	
Final log-likelihood	-210.35		-237.177		-253.876		-613.375		-825.006		-456.477	
Adjusted rho-square	0.403		0.226		0.248		0.327		0.302		0.192	
Likelihood ratio test:	MNL10/MNL10-ch	MNL10/MNL10-ch	MNL10/MNL10-ch	MNL10/MNL10-ch	MNL10/MNL10-ch	MNL10/MNL10-ch	MNL10/MNL10-ch	MNL10/MNL10-ch	MNL10/MNL10-ch	MNL10/MNL10-ch	MNL10/MNL10-ch	MNL10/MNL10-ch
-2 (LL(Br)-LL(β))	3.032		4.452		5.94		23.122		8.48		14.156	
d.f.	3		2		3		3		3		3	
LRT I.v. (95%)	7.81473		5.99146		7.81473		7.81473		7.81473		7.81473	
LR (MNL10-MNLi)	61.33%		89.20%		88.54%		100.00%		96.29%		99.73%	

Tabla 5.29. Modelos MNL considerando la elección de modo PR para diferentes localizaciones: Exp. 2 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

ML (RC)

Para terminar con esta primera línea de actuación se muestran los resultados de modelos ML con una especificación en la que se permite la variación aleatoria del parámetro común a las alternativas de transporte público asociado al tiempo (ML10-tpt(RC)). Se ha seleccionado este modelo en base a los diferentes resultados obtenidos en todas las localizaciones, puesto que en líneas generales los modelos en los que se permiten estas desviaciones en el atributo tiempo obtienen mejores valores en la log-verosimilitud, bondad de ajuste, etc. Puede observarse que en todas las localizaciones se obtienen desviaciones significativamente distintas de cero, y significaciones estadísticas elevadas en los test LR respecto al modelo MNL10.

Model ML10-tpt(RC)	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT-FERRAND		LILLE		A CORUÑA		VITORIA-GASTEIZ	
Coefficient	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	-0.0157	-0.11	0.512	3.7	0.231	1.86	0.0655	0.84	-0.858	-11.7	-0.154	-1.77
$\beta_{t,pt}$	-0.239	-7.02	-0.186	-5.55	-0.177	-6.65	-0.191	-12	-0.128	-11.3	-0.108	-7.51
$\beta_{c,pt}$	-2.07	-4.68	-1.63	-3.86	-1.14	-3.05	-1.9	-7.5	-2.54	-9.08	-1.56	-5.59
β_f	-0.132	-4.75	-0.0282	-1.47	-0.0852	-4.43	-0.0875	-7.01	-0.0784	-6.94	-0.0234	-1.79
* β_{nt0}	0.589	-	0.415	-	0.3526	-	0.364	-	0.5594	-	0.4052	-
β_{nt1}	0.236	1.67	-0.102	-0.93	0.0254	0.24	0.117	1.7	0.0206	0.38	0.0828	1.17
β_{nt2}	-0.825	-5.81	-0.313	-2.75	-0.378	-3.59	-0.481	-6.75	-0.58	-10.2	-0.488	-6.51
otpt	0.13	4.16	0.16	4.62	0.109	3.96	0.0973	5.96	0.0962	7.38	0.081	4.67
Halton draws	1000		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	7		7		7		7		7		7	
N observations	530		457		504		1334		1725		831	
n individuals	60		52		57		151		199		95	
Init log-likelihood	-315.495		-298.55		-340.322		-894.006		-1245.603		-635.227	
Final log-likelihood	-204.044		-225.434		-250.493		-613.316		-808.237		-456.448	
Adjusted rho-square	0.426		0.266		0.263		0.329		0.318		0.195	
Likelihood ratio test:	MNL10/ML10-tpt(RC)		MNL10/ML10-tpt(RC)		MNL10/ML10-tpt(RC)		MNL10/ML10-tpt(RC)		MNL10/ML10-tpt(RC)		MNL10/ML10-tpt(RC)	
-2 (LL(β_r)-LL(β))	15.644		27.938		12.706		23.24		42.018		14.214	
d.f.	1		1		1		1		1		1	
LRT I.v. (95%)	3.84146		3.84146		3.84146		3.84146		3.84146		3.84146	
LR (MNL10-MLi)	99.99%		100.00%		99.96%		100.00%		100.00%		99.98%	

Tabla 5.30. Modelos ML10-tpt(RC) para diferentes localizaciones: Exp. 2 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

En cuanto al análisis del rail factor a partir de los valores de las ASC para la alternativa ferroviaria (*ASC3*), se aprecia que solamente para las ciudades de Valenciennes y A Coruña el valor de la misma es significativamente distinto de cero. Además su efecto sobre la utilidad es contrario, ya que mientras que en Valenciennes la *ASC3* es mayor que cero (preferencia por el modo ferroviario), en A Coruña es menor que cero (preferencia por el autobús). También puede verse que excepto para el caso de Nantes y Lille, los valores de las ASC del modo ferroviario están próximos a una significación estadística al 95% (en Clermont-Ferrand es significativa al 93.7% y presenta un valor positivo, mientras que en Vitoria-Gasteiz lo es al 92.3% y con un valor negativo).

5.4.3.2. Experimento 1 / Escenario A: tipo de transporte público (imagen percibida)

MNL

En esta línea de actuación las ASC del modo ferroviario son significativas (excepto para el caso de Nantes), y presentan valores negativos solamente en las localizaciones españolas (es decir, en A Coruña y Vitoria-Gasteiz existe una preferencia por el autobús si se consideran los modelos MNL13 de referencia). Para el nuevo atributo considerado, el tipo de transporte público, se presentan parámetros

significativos para la “categoría A”, pero no para la “categoría B” (a excepción del caso de Valenciennes, donde ambos coeficientes son significativos).

Model MNL13	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT-FERRAND		LILLE		A CORUÑA		VITORIA-GASTEIZ	
Coefficient	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	0.0717	0.77	0.422	3.85	0.438	4.17	0.206	2.88	-0.803	-13.1	-0.193	-2.41
$\beta_{t,pt}$	-0.119	-10.9	-0.129	-9.77	-0.147	-11.8	-0.149	-15.6	-0.0932	-14.2	-0.0918	-10.1
$\beta_{c,pt}$	-0.962	-3.11	-1.65	-4.7	-1.63	-4.97	-1.75	-6.66	-1.25	-5.06	-1.34	-4.87
β_f	-0.0344	-2.33	0.00287	0.17	-0.0371	-2.27	-0.0587	-5.16	-0.0465	-4.78	-0.0358	-2.86
* β_{nt0}	0.427	-	0.3471	-	0.303	-	0.4119	-	0.3507	-	0.5064	-
β_{nt1}	-0.101	-1.23	0.0269	0.28	0.105	1.15	-0.0369	-0.56	-0.0367	-0.73	-0.0274	-0.4
β_{nt2}	-0.326	-3.93	-0.374	-3.88	-0.408	-4.51	-0.375	-5.46	-0.314	-6.31	-0.479	-6.67
$\beta_{ptA,pt}$	0.629	6.25	0.744	6.28	0.61	5.97	0.483	6.51	0.298	4.88	0.352	4.22
$\beta_{ptB,pt}$	-0.103	-1.05	-0.306	-2.84	-0.0815	-0.82	0.0873	1.09	0.0548	0.86	-0.0116	-0.14
* $\beta_{ptC,pt}$	-0.526	-	-0.438	-	-0.5285	-	-0.5703	-	-0.3528	-	-0.3404	-
K parameters	8		8		8		8		8		8	
N observations	684		561		691		1299		1635		865	
Init log-likelihood	-474.113		-388.856		-478.965		-900.398		-1133.296		-599.572	
Final log-likelihood	-359.173		-281.454		-327.865		-635.325		-866.947		-472.228	
Adjusted rho-square	0.226		0.256		0.299		0.286		0.228		0.199	

Tabla 5.31. Modelos MNL de referencia para diferentes localizaciones: Exp. 1 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

En cuanto a los modelos por PARES en los que se considera como específico el parámetro de la “categoría A” del tipo de transporte público, se observa que la posibilidad de considerarlos como candidatos a ser genéricos varía en función de la localización, según los resultados de los test de igualdad de parámetros (*Correlation $\beta_{i2} - \beta_{i3}$*). Esto también puede apreciarse en las mejoras en la capacidad explicativa obtenida con estos modelos (MNL13-ptA), reflejadas en los resultados de los test LR: mientras que no se obtienen mejoras significativas respecto al MNL13 en Clermont-Ferrand, Lille y Vitoria-Gasteiz, los modelos MNL13-ptA de Nantes, Valenciennes y A Coruña son significativamente superiores a los modelos MNL13 de referencia.

Model MNL13-ptA	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT-FERRAND		LILLE		A CORUÑA		VITORIA-GASTEIZ	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	0.0643	0.69	0.426	3.83	0.439	4.18	0.208	2.9	-0.807	-13.1	-0.194	-2.42
$\beta_{t,pt}$	-0.118	-10.9	-0.13	-9.89	-0.147	-11.8	-0.149	-15.4	-0.0924	-14.2	-0.0914	-10
$\beta_{c,pt}$	-1.02	-3.32	-1.81	-5.14	-1.64	-4.97	-1.75	-6.7	-1.18	-4.8	-1.34	-4.9
β_f	-0.0319	-2.16	0.0073	0.43	-0.0366	-2.23	-0.0579	-5.04	-0.0424	-4.34	-0.035	-2.78
* β_{nt0}	0.42	-	0.329	-	0.299	-	0.4094	-	0.3646	-	0.5057	-
β_{nt1}	-0.112	-1.35	0.024	0.25	0.104	1.14	-0.0374	-0.57	-0.0526	-1.02	-0.0297	-0.44
β_{nt2}	-0.308	-3.75	-0.353	-3.74	-0.403	-4.38	-0.372	-5.42	-0.312	-6.29	-0.476	-6.64
$\beta_{ptA,2}$	0.8	6.03	1.04	6.53	0.632	4.84	0.507	5.38	0.462	5.42	0.39	3.51
$\beta_{ptA,3}$	0.484	3.96	0.502	3.54	0.585	4.35	0.459	4.88	0.177	2.36	0.32	3.1
$\beta_{ptB,pt}$	-0.134	-1.34	-0.351	-3.16	-0.0837	-0.84	0.0812	1	0.0194	0.3	-0.0185	-0.21
Correlation ($\beta_{i2}-\beta_{i3}$)	0.278	2.06	0.319	3.04	0.185	0.28	0.244	0.41	0.221	2.85	0.221	0.52
K parameters	9		9		9		9		9		9	
N observations	684		561		691		1299		1635		865	
Init log-likelihood	-474.113		-388.856		-478.965		-900.398		-1133.296		-599.572	
Final log-likelihood	-357.035		-276.756		-327.827		-635.241		-862.871		-472.091	
Adjusted rho-square	0.228		0.265		0.297		0.284		0.231		0.198	
Likelihood ratio test:	MNL13/MNL13-ptA		MNL13/MNL13-ptA		MNL13/MNL13-ptA		MNL13/MNL13-ptA		MNL13/MNL13-ptA		MNL13/MNL13-ptA	
-2 (LL(Br)-LL(β))	4.276		9.396		0.076		0.168		8.152		0.274	
d.f.	1		1		1		1		1		1	
LRT l.v. (95%)	3.84146		3.84146		3.84146		3.84146		3.84146		3.84146	
LR (MNL13-MNLi)	96.13%		99.78%		21.72%		31.81%		99.57%		39.93%	

Tabla 5.32. Modelos MNL con "categoría A" del tipo de transporte público como específica para diferentes localizaciones: Exp. 1 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Para finalizar con la tipología MNL se destaca que, en la mayor parte de las localizaciones, los modelos con variables de la sección PR de la encuesta presentan mejoras significativas solamente cuando se considera el atributo elección de modo PR (véanse anexos del A16 al A21). Sin embargo la experiencia previa con la red de transporte público PR no ofrece mejoras significativas que justifiquen su introducción en la modelización. Esta tendencia tiene su excepción en A Coruña, donde la experiencia con la red de transporte PR (MNL13-u) aporta capacidad explicativa de forma significativa respecto al modelo de referencia (MNL13), al contrario de lo que sucede con la elección de modo PR (MNL13-ch), tal y como puede verse en la tabla siguiente:

Model	MNL13		MNL13-ch		MNL13-u		MNL13-ch-u	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient								
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	-0.803	-13.1	-0.831	-5.01	-0.848	-13.3	-0.866	-5.18
$\beta_{t,pt}$	-0.0932	-14.2	-0.094	-14.3	-0.0936	-14.2	-0.094	-14.2
$\beta_{c,pt}$	-1.25	-5.06	-1.26	-5.09	-1.26	-5.07	-1.26	-5.08
β_f	-0.0465	-4.78	-0.0461	-4.74	-0.0469	-4.82	-0.0466	-4.78
* β_{nt0}	0.3507	-	0.3513	-	0.357	-	0.3556	-
β_{nt1}	-0.0367	-0.73	-0.0363	-0.72	-0.041	-0.81	-0.0396	-0.78
β_{nt2}	-0.314	-6.31	-0.315	-6.31	-0.316	-6.31	-0.316	-6.31
$\beta_{ptA,pt}$	0.298	4.88	0.301	4.92	0.298	4.87	0.3	4.89
$\beta_{ptB,pt}$	0.0548	0.86	0.0512	0.8	0.0539	0.85	0.052	0.81
* $\beta_{ptC,pt}$	-0.3528	-	-0.3522	-	-0.3519	-	-0.352	-
* $\beta_{ch1,3}$			-0.336	-			-0.2201	-
$\beta_{ch2,3}$			-0.125	-0.71			-0.0398	-0.22
$\beta_{ch3,3}$			0.161	0.92			0.0869	0.49
$\beta_{ch4,3}$			0.3	0.73			0.173	0.42
* $\beta_{nu,3}$					-0.198	-	-0.16	-
$\beta_{u,3}$					0.198	3.22	0.16	2.23
K parameters	8		11		9		12	
N observations	1635		1635		1635		1635	
Null log-likelihood	-1133.296		-1133.296		-1133.296		-1133.296	
Final log-likelihood	-866.947		-863.596		-861.689		-861.098	
Likelihood ratio test	532.698		539.398		543.213		544.396	
Adjusted rho-square	0.228		0.228		0.232		0.23	
Likelihood ratio test:			MNL13/MNL13-		MNL13/MNL13-		MNL13/MNL13-	
-2 (LL(β_r)-LL(β))			ch		u		ch-u	
d.f.			6.702		10.516		11.698	
LRT l.v. (95%)			3		1		4	
LR (MNL13-MNLi)			7.814728		3.841459		9.487729	
			91.80%		99.88%		98.03%	

Tabla 5.33. Modelos MNL con variables de la sección PR de la encuesta: Exp. 1 / Esc. A, A Coruña

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

ML (RC)

En todas las localizaciones se obtienen desviaciones asociadas al tiempo correspondiente al transporte público (σ_{pt}) que son significativamente distintas de cero.

Model ML13-tpt(RC)	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT-FERRAND		LILLE		A CORUÑA		VITORIA-GASTEIZ	
Coefficient	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	0.0834	0.85	0.542	4.29	0.637	4.93	0.262	3.27	-0.863	-12.8	-0.191	-2.17
$\beta_{t,pt}$	-0.132	-8.57	-0.166	-6.7	-0.226	-7.43	-0.183	-11.2	-0.107	-10.4	-0.11	-7.41
$\beta_{c,pt}$	-1.03	-3.25	-1.86	-4.91	-1.98	-5.33	-1.87	-6.82	-1.34	-5.08	-1.44	-4.96
β_f	-0.0381	-2.45	0.00556	0.3	-0.0413	-2.12	-0.0664	-5.29	-0.055	-5.24	-0.0422	-3.12
* β_{nt0}	0.4434	-	0.4067	-	0.409	-	0.41431	-	0.3462	-	0.5343	-
β_{nt1}	-0.0964	-1.12	0.0283	0.27	0.14	1.27	0.00069	0.01	-0.0302	-0.56	-0.0243	-0.33
β_{nt2}	-0.347	-3.99	-0.435	-4.09	-0.549	-4.9	-0.415	-5.49	-0.316	-5.89	-0.51	-6.62
$\beta_{ptA,pt}$	0.642	6.14	0.79	6.16	0.72	5.99	0.484	6.05	0.314	4.86	0.37	4.18
$\beta_{ptB,pt}$	-0.112	-1.08	-0.293	-2.43	-0.0695	-0.57	0.0319	0.36	0.0135	0.19	-0.0319	-0.33
* $\beta_{ptC,pt}$	-0.53	-	-0.497	-	-0.6505	-	-0.5159	-	-0.3275	-	-0.3381	-
otpt	0.0664	3.3	0.107	3.82	0.168	5.72	0.112	6.34	0.0861	6.71	0.0913	5.18
Halton draws	1000		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	9		9		9		9		9		9	
N observations	684		561		691		1299		1635		865	
n individuals	78		64		79		148		189		100	
Init log-likelihood	-488.583		-395.723		-426.815		-859.514		-1190.61		-647.227	
Final log-likelihood	-356.401		-275.53		-302.449		-618.939		-850.989		-462.27	
Adjusted rho-square	0.229		0.268		0.35		0.303		0.241		0.214	
Likelihood ratio test:	MNL13/ML13-tpt(RC)		MNL13/ML13-tpt(RC)		MNL13/ML13-tpt(RC)		MNL13/ML13-tpt(RC)		MNL13/ML13-tpt(RC)		MNL13/ML13-tpt(RC)	
-2 (LL(Br)-LL(β))	5.544		11.848		50.832		32.772		31.916		19.916	
d.f.	1		1		1		1		1		1	
LRT I.v. (95%)	3.84146		3.84146		3.84146		3.84146		3.84146		3.84146	
LR (MNL13-MLi)	98.15%		99.94%		100.00%		100.00%		100.00%		100.00%	

Tabla 5.34. Modelos ML13-tpt(RC) para diferentes localizaciones: Exp. 1 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

De nuevo se repiten las tendencias que se mostraron en los modelos MNL13 de este apartado, es decir, las *ASC3* son significativas en todas las localizaciones excepto en Nantes, y presentan un valor positivo en las ciudades francesas y negativo en las ciudades españolas. En todos los casos los modelos ML13-tpt(RC) mejoran de forma significativa la capacidad explicativa de los modelos MNL13 correspondientes, como puede apreciarse en los resultados de los test LR (siempre mayores al 95%).

5.4.3.3. Experimento 2 / Escenario B: influencia de coche disponible sobre rail factor

MNL

Puede observarse que en este caso los valores de las ASC para las alternativas de transporte público son positivos, y significativamente distintos de cero en aproximadamente la mitad de las localizaciones estudiadas. En lo relativo a la comparación directa de las ASC del autobús (*ASC2*) y del modo ferroviario (*ASC3*) en el modelo MNL de referencia de esta línea de actuación (MNL10), se aprecia que en las ciudades españolas y en Nantes aparece una preferencia hacia el autobús, mientras

que en el resto de ciudades francesas (Valenciennes, Clermont-Ferrand y Lille) esta preferencia es favorable hacia el modo ferroviario.

Model MNL10	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT-FERRAND		LILLE		A CORUÑA		VITORIA-GASTEIZ	
Coefficient	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	1.8	2.26	1.52	2.2	0.374	0.59	1.51	3.68	0.739	2.1	0.457	1.07
ASC3	1.71	2.19	1.67	2.42	0.475	0.75	1.59	3.88	-0.0275	-0.08	0.0543	0.13
$\beta_{t,1}$	-0.128	-5.36	-0.0742	-3.71	-0.0973	-5.26	-0.0871	-7.13	-0.085	-8.33	-0.0507	-3.74
$\beta_{t,pt}$	-0.168	-12.1	-0.124	-8.73	-0.132	-10.1	-0.129	-16.5	-0.113	-15.9	-0.0855	-9.4
$\beta_{c,1}$	-0.725	-7.52	-0.517	-6.33	-0.393	-5.3	-0.6	-12.1	-0.761	-13.2	-0.578	-7.72
$\beta_{c,pt}$	-0.891	-3.22	-1.48	-5.22	-0.727	-2.8	-1.06	-6.46	-1.36	-7.24	-0.748	-3.97
β_f	-0.0768	-3.16	-0.0301	-1.25	-0.0502	-2.16	-0.0741	-5.54	-0.0618	-4.72	-0.0404	-2.44
* β_{nt0}	0.5235	-	0.477	-	0.5754	-	0.4244	-	0.3567	-	0.4106	-
β_{nt1}	-0.0395	-0.33	-0.179	-1.52	0.0636	0.58	0.0076	0.12	-0.0407	-0.67	-0.0686	-0.87
β_{nt2}	-0.484	-4.04	-0.298	-2.34	-0.639	-4.88	-0.432	-5.99	-0.316	-4.75	-0.342	-3.99
K parameters	9		9		9		9		9		9	
N observations	522		476		570		1359		1974		919	
Init log-likelihood	-573.476		-522.939		-626.209		-1493.014		-2168.661		-1009.625	
Final log-likelihood	-372.777		-382.691		-436.121		-1122.842		-1453.494		-806.343	
Adjusted rho-square	0.334		0.251		0.289		0.242		0.326		0.192	

Tabla 5.35. Modelos MNL de referencia para diferentes localizaciones: Exp. 2 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

En cuanto a las variables de la sección PR de la encuesta, los modelos en los que se incluyen muestran mejoras en la capacidad explicativa del fenómeno en todos los casos si hablamos de la elección de modo PR, y en casi todos si consideramos la experiencia previa con la red de transporte público PR (véanse anexos del A16 al A21). Además, la introducción de estas variables de forma específica no ofrece mejoras sobre su especificación como genéricas para las alternativas del transporte público en la mayor parte de las localizaciones (salvo en Lille y A Coruña, véanse anexos A19 y A20, respectivamente), lo que podría interpretarse como que estas variables influyen en la misma medida en la elección de autobús y del modo ferroviario en esas localizaciones concretas. Merece la pena recordar que aunque estos modelos sean superiores teóricamente al MNL10, se toma este último como referencia a raíz de los motivos presentados en detalle en el apartado anterior, y que están directamente relacionados con la definición del fenómeno *rail factor*, la posibilidad de comparación directa entre los resultados en diferentes localizaciones, etc. (véase apartado 5.4.2.) Además, se plantea la posibilidad de explotar este tipo de modelos como línea de investigación futura, tal y como puede verse en el capítulo 7.

NL

El parámetro de nido es significativo para todas las localizaciones excepto Vitoria-Gasteiz (se recuerda que para $\lambda_{nest_{pt}}$ el test se realiza respecto a 1, siendo además un test de una cola). Esto implica que en estas localizaciones puede afirmarse que existe una marcada correlación entre las alternativas de transporte público.

Respecto a los valores de las ASC para las alternativas de transporte público, se observan las mismas tendencias que en el apartado MNL (es decir, preferencia hacia el autobús en A Coruña, Vitoria-Gasteiz y Nantes, y preferencia hacia el modo ferroviario en el resto de ciudades francesas). En cualquier caso para los modelos NL10 las ASC no son significativamente distintas de cero en ninguna localización, siendo, la introducción de este nido en la especificación del modelo lo que genera este efecto, y dado que se obtienen mejoras significativas respecto a los modelos MNL de referencia, no puede concluirse que exista ninguna preferencia por algún modo de transporte público (al menos, basándose en los resultados de las ASC de estas alternativas correspondientes a modelos NL).

Model NL10	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT-FERRAND		LILLE		A CORUÑA		VITORIA-GASTEIZ	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	0.432	0.47	0.0622	0.08	-0.279	-0.44	0.378	0.82	-0.0247	-0.06	0.313	0.65
ASC3	0.363	0.4	0.157	0.21	-0.228	-0.35	0.422	0.9	-0.584	-1.61	-0.0492	-0.11
$\beta_{t,1}$	-0.135	-5.78	-0.0749	-3.93	-0.0942	-5.32	-0.0895	-7.53	-0.0844	-8.52	-0.0507	-3.77
$\beta_{t,pt}$	-0.121	-5.34	-0.064	-3.37	-0.0958	-5.2	-0.0851	-7.21	-0.0861	-8.53	-0.0783	-5.29
$\beta_{c,1}$	-0.694	-7.5	-0.481	-6.1	-0.366	-5.06	-0.562	-11.6	-0.729	-12.8	-0.571	-7.57
$\beta_{c,pt}$	-0.625	-2.55	-1.09	-4.05	-0.578	-2.6	-0.819	-5.74	-1.14	-6.33	-0.719	-3.81
β_f	-0.0548	-3.01	-0.0123	-1.03	-0.0334	-2.14	-0.0452	-4.72	-0.0405	-3.83	-0.0361	-2.21
* β_{nt0}	0.3231	-	0.2352	-	0.3685	-	0.2323	-	0.25312	-	0.3637	-
β_{nt1}	0.0349	0.41	-0.0632	-1	0.0595	0.8	0.0377	0.93	0.00388	0.09	-0.0547	-0.73
β_{nt2}	-0.358	-3.66	-0.172	-2.24	-0.428	-3.61	-0.27	-4.71	-0.257	-4.9	-0.309	-3.27
λ_{nest1}	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-
** λ_{nestpt}	1.69	1.79	2.56	2.04	1.8	1.84	1.95	3.02	1.59	2.69	1.14	0.56
K parameters	10		10		10		10		10		10	
N observations	522		476		570		1359		1974		919	
Init log-likelihood	-573.382		-522.205		-625.189		-1491.8		-2164.588		-1008.239	
Final log-likelihood	-369.68		-376.025		-432.719		-1112.368		-1447.331		-806.16	
Adjusted rho-square	0.338		0.262		0.293		0.248		0.328		0.192	

Tabla 5.36. Modelos NL de referencia para diferentes localizaciones: Exp. 2 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

** El test-t realizado para el parámetro de nido $\lambda_{nest_{pt}}$ se calcula respecto a 1 siendo además un test de una cola

En cuanto a las variables de la sección PR de la encuesta, los modelos en los que se incluyen las mismas siguen pautas muy similares a las vistas en los modelos MNL

análogos, aunque en este caso se pierde capacidad explicativa, sobre todo en lo que a la variable experiencia previa con la red de transporte público PR se refiere (véanse anexos del A16 al A21). Debido a esta pérdida de capacidad explicativa, los modelos en los que se considera la experiencia previa PR de forma genérica (NL10-uG) o específica (NL10-uS), no son superiores al modelo NL de referencia (NL10), para las localizaciones de Nantes, Valenciennes y A Coruña (tal y como puede verse en los anexos A16, A17 y A20, respectivamente).

ML (EC)

Puede apreciarse que la desviación aleatoria común a los modos públicos (σ_{pt}) presenta un valor significativamente distinto de cero en todas las localizaciones. Además, estas modelizaciones también ofrecen mejoras significativas en la capacidad explicativa respecto a los modelos MNL correspondientes, y presentan una log-verosimilitud mayor que las modelizaciones del tipo MNL y NL análogas. Por estos motivos las estimaciones ML(EC) se consideran superiores a sus antecesoras.

Model ML10(EC)	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT-FERRAND		LILLE		A CORUÑA		VITORIA-GASTEIZ	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	0.952	1.01	0.35	0.32	-1.77	-1.71	0.824	1.49	-0.236	-0.5	-0.645	-1.04
ASC3	0.841	0.91	0.632	0.58	-1.67	-1.61	0.908	1.64	-1.11	-2.4	-1.07	-1.73
$\beta_{t,1}$	-0.188	-6.23	-0.173	-5.3	-0.207	-6.7	-0.156	-9.02	-0.134	-9.88	-0.103	-5.31
$\beta_{t,pt}$	-0.189	-11.9	-0.159	-8.51	-0.183	-10.4	-0.157	-16.5	-0.136	-16.2	-0.0997	-9.51
$\beta_{c,1}$	-0.955	-7.89	-0.983	-7.26	-0.827	-6.77	-0.956	-13.2	-1.14	-14.5	-0.998	-9
$\beta_{c,pt}$	-0.864	-2.84	-2.39	-6.07	-0.888	-2.54	-1.42	-7.07	-1.68	-7.47	-1.13	-4.79
β_f	-0.0835	-3.26	-0.031	-1.14	-0.0587	-2.25	-0.0812	-5.65	-0.0673	-4.71	-0.0409	-2.32
* β_{nt0}	0.55793	-	0.537	-	0.688	-	0.4602	-	0.40916	-	0.4314	-
β_{nt1}	-0.0019	-0.02	-0.1	-0.72	0.118	0.9	0.0428	0.59	-0.0022	-0.03	-0.0294	-0.34
β_{nt2}	-0.556	-4.35	-0.437	-2.85	-0.806	-5.24	-0.503	-6.34	-0.407	-5.57	-0.402	-4.33
opt	1.56	6.01	3.35	6.14	3.26	6.64	2.28	10.72	2.09	12.51	2.61	8.62
ECpt	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Correlation (ASC2-ASC3)	0.987	0.72	0.987	-1.58	0.986	-0.58	0.986	-0.91	0.979	9.23	0.983	3.72
Halton draws	1000		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	10		10		10		10		10		10	
N observations	522		476		570		1359		1974		919	
n individuals	59		54		64		154		226		105	
Init log-likelihood	-570.494		-441.729		-520.196		-1374.246		-1815.458		-856.132	
Final log-likelihood	-348.473		-290.435		-333.375		-963.275		-1255.538		-663.785	
Adjusted rho-square	0.375		0.425		0.452		0.348		0.416		0.333	

Tabla 5.37. Modelos ML(EC) de referencia para diferentes localizaciones: Exp. 2 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Para esta línea de actuación se observa que solamente se obtiene una ASC significativa para el modo ferroviario (ASC3) en el caso de A Coruña. Aun no siendo la

mayor parte de las ASC significativamente distintas de cero al 95%, se aprecia que existen diferencias entre las constantes de los modos de transporte público. Del mismo modo que anteriormente, en A Coruña, Vitoria-Gasteiz y Nantes la comparación entre estas ASC resulta favorable para el autobús, mientras que en el resto de ciudades francesas el transporte público más favorecido por este efecto es el ferroviario. En cualquier caso, dados los resultados obtenidos en el test-t de igualdad de parámetros para ambas constantes (*Correlation ASC2-ASC3*), puede afirmarse que solamente en las ciudades españolas las ASC pueden ser consideradas como diferentes entre sí de forma significativa.

De nuevo la elección de modo PR es significativamente influyente en la elección en todos los casos, aunque solamente si se considera su especificación de forma independiente a la experiencia previa con la red de transporte público PR (véanse anexos del A16 al A21). La capacidad explicativa de esta última variable, al igual que en el caso de los modelos que consideran ambas variables de forma conjunta, es diferente para cada localización.

ML (RC)

Como consecuencia de incorporar una nueva alternativa se presentan 2 nuevos tipos de modelos que mejoran la log-verosimilitud de forma significativa. En primer lugar un modelo en el que se permite la variación aleatoria de los 2 parámetros asociados al tiempo (ML10-t1,pt(RC)), tanto al del coche como al de las alternativas de transporte público. El segundo tipo de modelo es aquel en el que se estiman variaciones aleatorias asociadas a las ASC (ML10-ASCi(RC)).

Respecto a los modelos del primer tipo, puede apreciarse en la tabla 5.38. que las desviaciones correspondientes al tiempo (σl y σpt) son significativas para todas las localizaciones, obteniéndose mejoras en la log-verosimilitud respecto a los modelos MNL y NL de referencia. En lo referente a las ASC, solamente la del modo ferroviario (*ASC3*) para la ciudad de Lille es significativamente distinta de cero. Además, en este caso varía la posición relativa del coche respecto al caso anterior en las ciudades de Clermont-Ferrand, A Coruña y Vitoria-Gasteiz (cambio de signo en las ASC de modos de transporte público). Salvo por estos aspectos, se mantienen las tendencias vistas en el apartado anterior, es decir, la ASC del autobús (*ASC2*) es mayor que la del ferroviario (*ASC3*) en A Coruña, Vitoria-Gasteiz y Nantes, y solamente pueden considerarse estas constantes como diferentes en las ciudades españolas (*Correlation ASC2-ASC3*).

Model ML10-t1,pt(RC)	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT-FERRAND		LILLE		A CORUÑA		VITORIA-GASTEIZ	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	1.24	1.32	1.56	1.5	0.509	0.53	0.999	1.84	0.775	1.7	0.502	0.84
ASC3	1.09	1.18	1.8	1.73	0.691	0.72	1.1	2.02	-0.144	-0.32	0.114	0.19
$\beta_{t,1}$	-0.195	-5.74	-0.131	-3.52	-0.211	-5.57	-0.186	-8.06	-0.138	-8.78	-0.0632	-2.81
$\beta_{t,pt}$	-0.2	-10.9	-0.201	-7.37	-0.319	-7.88	-0.181	-13	-0.165	-13.1	-0.146	-8.77
$\beta_{c,1}$	-0.933	-7.84	-1.01	-7.12	-0.867	-6.56	-0.966	-13	-1.18	-14.3	-1.08	-9.16
$\beta_{c,pt}$	-0.93	-3	-2.34	-5.8	-0.856	-2.3	-1.4	-6.83	-1.69	-7.2	-1.23	-4.95
β_f	-0.0803	-3.12	-0.0291	-1.05	-0.0561	-2.04	-0.0807	-5.53	-0.0724	-4.82	-0.0446	-2.44
* β_{nt0}	0.5623	-	0.529	-	0.6822	-	0.442	-	0.4079	-	0.4645	-
β_{nt1}	-0.0213	-0.17	-0.129	-0.9	0.0498	0.36	0.029	0.39	-0.0249	-0.36	-0.0805	-0.91
β_{nt2}	-0.541	-4.25	-0.4	-2.6	-0.732	-4.67	-0.471	-5.87	-0.383	-5.04	-0.384	-4.03
σ_{t1}	0.044	2.75	0.158	4.56	0.0802	3.88	0.109	7.13	0.115	9.94	0.129	5.8
σ_{tpt}	0.0605	4.56	0.0903	4	0.214	4.31	0.0628	6.19	0.0953	9.98	0.083	6.54
Correlation (ASC2-ASC3)	0.986	0.96	0.985	-1.33	0.982	-1	0.985	-1.03	0.976	9.18	0.98	3.31
Halton draws	1000		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	11		11		11		11		11		11	
N observations	522		476		570		1359		1974		919	
n individuals	59		54		64		154		226		105	
Init log-likelihood	-622.707		-482.11		-483.244		-1624.799		-2151.093		-1068.685	
Final log-likelihood	-346.844		-289.785		-320.173		-961.283		-1254.642		-649.162	
Adjusted rho-square	0.376		0.425		0.471		0.349		0.416		0.346	

Tabla 5.38. Modelos ML10-t1,pt(RC) para diferentes localizaciones: Exp. 2 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

En cuanto a los modelos en los que se estiman variaciones aleatorias para las ASC de las alternativas (solamente 2 de ellas por cuestiones de identificación), se aprecia en la tabla siguiente que la desviación de referencia es la correspondiente a la alternativa autobús (σ_{ASC2}) en todas las localizaciones excepto en Clermont-Ferrand, en cuyo caso es la correspondiente al modo ferroviario (σ_{ASC3}). Se aprecia además una heteroscedasticidad significativa entre alternativas, siendo en todos los casos la correspondiente al coche (σ_{ASC1}) la que presenta mayor variabilidad en la población. Los valores de las ASC y los distintos test a ellas asociados muestran tendencias prácticamente idénticas a las obtenidas para los modelos ML(EC) de esta línea de actuación.

Model ML10-ASCi(RC)	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT- FERRAND		LILLE		A CORUÑA		VITORIA- GASTEIZ	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	1.05	1.1	0.628	0.56	-1.56	-1.48	1.06	1.87	0.0908	0.19	-0.315	-0.5
ASC3	0.909	0.97	0.833	0.74	-1.37	-1.29	1.09	1.91	-1.16	-2.41	-0.904	-1.42
$\beta t,1$	-0.19	-6.21	-0.182	-5.36	-0.208	-6.56	-0.16	-9	-0.141	-10	-0.105	-5.3
$\beta t,pt$	-0.194	-11	-0.176	-8.33	-0.19	-10	-0.168	-16.1	-0.152	-16	-0.11	-9.43
$\beta c,1$	-0.969	-7.83	-1.03	-7.27	-0.849	-6.73	-0.992	-13.2	-1.2	-14.6	-1.02	-9.07
$\beta c,pt$	-0.89	-2.88	-2.58	-6.13	-0.976	-2.7	-1.51	-7.25	-1.81	-7.74	-1.23	-5.01
βf	-0.084	-3.22	-0.0263	-0.91	-0.0759	-2.56	-0.0883	-5.68	-0.0799	-4.99	-0.0501	-2.58
* $\beta nt0$	0.56181	-	0.5578	-	0.7819	-	0.4956	-	0.4619	-	0.4805	-
$\beta nt1$	0.00519	0.04	-0.0798	-0.54	0.0981	0.7	0.0434	0.57	-0.0209	-0.28	-0.0405	-0.44
$\beta nt2$	-0.567	-4.37	-0.478	-2.96	-0.88	-5.3	-0.539	-6.47	-0.441	-5.63	-0.44	-4.43
$\sigma ASC1$	1.58	5.95	3.47	6.08	3.3	6.52	2.35	10.49	2.15	12.25	2.64	8.53
$\sigma ASC2$	0	-	0	-	0.941	3.14	0	-	0	-	0	-
$\sigma ASC3$	0.442	1.26	0.9	3.16	0	-	0.867	5.58	1.33	7.36	1.06	5.16
Correlation (ASC2-ASC3)	0.984	0.81	0.978	-0.86	0.976	-0.82	0.976	-0.22	0.939	7.5	0.961	3.3
Halton draws	1000		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	11		11		11		11		11		11	
N observations	522		476		570		1359		1974		919	
n individuals	59		54		64		154		226		105	
Init log-likelihood	-573.476		-522.939		-626.209		-1493.014		-2168.661		-1009.625	
Final log-likelihood	-348.162		-287.19		-330.657		-954.38		-1232.177		-653.821	
Adjusted rho-square	0.374		0.43		0.454		0.353		0.427		0.342	

Tabla 5.39. Modelos ML10-ASCi(RC) para diferentes localizaciones: Exp. 2 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

5.4.3.4. Experimento 1 / Escenario B: influencia de coche disponible considerando atributo tipo de transporte público

MNL

Los valores de las ASC presentan signos diferentes en función de la localización considerada, siendo sus valores significativamente distintos de cero para los casos de Clermont-Ferrand y Lille (donde ambas ASC son positivas).

En cuanto a la comparación entre las ASC de las alternativas de transporte público, y dados los resultados de los test de igualdad de parámetros (*Correlation ASC2-ASC3*), puede concluirse que no existen diferencias entre estas constantes en los casos de Nantes, Lille y Valenciennes (aunque en este último caso la significación estadística de una posible diferencia está próxima al 95%). En esta línea de actuación la ASC para el autobús (*ASC2*) es siempre mayor que la correspondiente al modo ferroviario (*ASC3*) en todas las ciudades francesas, mientras que sucede todo lo contrario en las ciudades españolas consideradas.

Model MNL13	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT-FERRAND		LILLE		A CORUÑA		VITORIA-GASTEIZ	
Coefficient	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	0.656	1.16	-0.332	-0.51	1.24	2.19	1.18	2.85	0.497	1.39	-0.373	-0.84
ASC3	0.688	1.22	-0.0389	-0.06	1.77	3.12	1.28	3.11	-0.191	-0.54	-0.636	-1.44
βt_1	-0.0911	-5.47	-0.0845	-4.63	-0.0832	-5.14	-0.0832	-6.99	-0.0937	-9.21	-0.0701	-4.98
βt_{pt}	-0.121	-11.4	-0.137	-9.79	-0.125	-11.1	-0.126	-15.6	-0.111	-15.4	-0.0896	-9.31
βc_1	-0.485	-7.13	-0.453	-5.68	-0.387	-5.77	-0.493	-9.92	-0.668	-11.3	-0.659	-8.03
βc_{pt}	-0.616	-2.82	-0.589	-2.33	-1.14	-5.42	-1.01	-6.2	-1.34	-7.15	-0.805	-3.98
βf	-0.0348	-1.88	0.0151	0.63	-0.0407	-2.02	-0.0451	-3.22	-0.0435	-3.32	-0.0206	-1.18
* βnt_0	0.473	-	0.3053	-	0.386	-	0.3892	-	0.2764	-	0.5312	-
βnt_1	-0.137	-1.47	0.0217	0.19	-0.16	-1.65	-0.0162	-0.24	-0.0124	-0.2	-0.0292	-0.34
βnt_2	-0.336	-3.55	-0.327	-2.69	-0.226	-2.31	-0.373	-5.06	-0.264	-4.01	-0.502	-5.24
βptA_{pt}	0.501	4.99	0.466	3.63	0.287	2.75	0.31	4.17	0.265	3.91	0.379	4.07
βptB_{pt}	-0.169	-1.67	-0.128	-1.02	-0.0293	-0.29	0.00233	0.03	-0.0267	-0.4	-0.157	-1.67
* βptC_{pt}	-0.332	-	-0.338	-	-0.2577	-	-0.3123	-	-0.2383	-	-0.222	-
Correlation (ASC2-ASC3)	0.978	-0.27	0.973	-1.93	0.976	-4.29	0.977	-1.16	0.971	8	0.967	2.31
K parameters	11		11		11		11		11		11	
N observations	679		594		727		1319		1910		902	
Init log-likelihood	-745.958		-652.576		-798.691		-1449.07		-2098.349		-990.948	
Final log-likelihood	-589.813		-442.688		-605.956		-1102.767		-1445.551		-740.225	
Adjusted rho-square	0.195		0.305		0.228		0.231		0.306		0.242	

Tabla 5.40. Modelos MNL de referencia para diferentes localizaciones: Exp. 1 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

De los modelos por PARES se destacan aquellos en los que se estiman los coeficientes de la “categoría A” del atributo el tipo de transporte público de forma específica (MNL13-ptA), en los que se aprecia que solamente pueden considerarse como candidatos a ser específicos los parámetros correspondientes a las ciudades de Nantes y de Vitoria-Gasteiz (véanse anexos A16 y A21, o bien el apartado 5.5.3). Respecto a los modelos en los que se consideran atributos de la sección PR de la encuesta, en todas las localizaciones la elección de modo PR es significativamente influyente cuando se especifica de forma independiente, aunque cuando se toma de forma conjunta con la experiencia previa con la red de transporte público PR los modelos obtenidos no ofrecen mejoras en la capacidad explicativa según los test de razón de verosimilitud.

NL

Puede verse en la tabla siguiente que los valores del parámetro del nido (λ_{nestpt}) son significativamente distintos de 1 en los casos de Valenciennes, Clermont-Ferrand, Lille, A Coruña y Vitoria-Gasteiz, lo que supone un indicador de que existe correlación entre las alternativas de transporte público.

Model NL13	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT-FERRAND		LILLE		A CORUÑA		VITORIA-GASTEIZ	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	0.142	0.23	-0.795	-1.31	-0.199	-0.35	0.245	0.56	-0.518	-1.35	-1.07	-2.64
ASC3	0.189	0.31	-0.577	-0.92	0.0757	0.13	0.345	0.78	-0.951	-2.71	-1.21	-3.08
$\beta t,1$	-0.0914	-5.58	-0.0859	-4.87	-0.0868	-5.7	-0.085	-7.35	-0.0941	-9.56	-0.0674	-4.97
$\beta t,pt$	-0.1	-6.18	-0.102	-5.34	-0.0672	-4.63	-0.0898	-7.85	-0.0739	-7.7	-0.0503	-4.24
$\beta c,1$	-0.469	-6.92	-0.434	-5.64	-0.358	-5.7	-0.469	-9.68	-0.63	-11	-0.606	-7.52
$\beta c,pt$	-0.492	-2.33	-0.552	-2.54	-0.787	-4.3	-0.796	-5.37	-1.08	-6.31	-0.61	-3.78
βf	-0.025	-1.64	0.0155	0.96	-0.0087	-0.93	-0.0261	-2.76	-0.0193	-2.19	-0.0033	-0.38
* $\beta nt0$	0.3872	-	0.2454	-	0.2085	-	0.2656	-	0.1828	-	0.27198	-
$\beta nt1$	-0.0952	-1.22	0.0396	0.48	-0.0615	-1.25	0.0254	0.56	0.0372	0.94	-0.003	-0.07
$\beta nt2$	-0.292	-3.6	-0.285	-3.13	-0.147	-2.65	-0.291	-5.2	-0.22	-4.96	-0.269	-3.5
$\beta ptA,pt$	0.437	4.56	0.369	3.38	0.188	2.88	0.253	4.51	0.198	4.01	0.262	3.71
$\beta ptB,pt$	-0.138	-1.61	-0.0706	-0.74	0.00344	0.07	0.0411	0.77	-4E-06	0	-0.0589	-1.05
* $\beta ptC,pt$	-0.299	-	-0.2984	-	-0.1914	-	-0.2941	-	-0.198	-	-0.2031	-
$\lambda nest1$	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-
** $\lambda nestpt$	1.35	1.32	1.67	1.7	2.7	2.64	1.78	2.8	1.92	3.28	2.43	2.33
Correlation (ASC2-ASC3)	0.989	-0.51	0.985	-2.01	0.993	-3.51	0.992	-1.78	0.985	6.03	0.989	2.15
K parameters	12		12		12		12		12		12	
N observations	679		594		727		1319		1910		902	
Init log-likelihood	-745.449		-651.357		-797.812		-1447.448		-2094.459		-989.276	
Final log-likelihood	-588.565		-440.182		-594.874		-1095.347		-1434.299		-732.329	
Adjusted rho-square	0.195		0.307		0.24		0.236		0.311		0.249	

Tabla 5.41. Modelos NL de referencia para diferentes localizaciones: Exp. 1 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

** El test-t realizado para el parámetro de nido $\lambda nestpt$ se calcula respecto a 1 siendo además un test de una cola

En esta tipología de modelos se observa la misma tendencia que en los modelos MNL respecto a los valores de las ASC, es decir, la *ASC2* es mayor que la *ASC3* para las ciudades francesas y lo contrario para las españolas. La principal diferencia se da en la significación estadística de los valores asociados a las mismas, ya que en este caso solamente las ASC de Vitoria-Gasteiz y la *ASC3* de A Coruña son significativamente distintas de cero. Mientras que para estas ciudades francesas no se obtienen ASC significativas, la inclusión de las alternativas de transporte público en un nido implica grandes cambios en las ASC de las ciudades españolas respecto a las de modelos MNL análogos, que pasan a ser significativas para el modo ferroviario, mientras que para el autobús solamente ocurre esto en Vitoria-Gasteiz (para más información véanse anexos del A16 al A21).

El modelo NL13-ptA mejora la capacidad explicativa del modelo NL de referencia (NL13) solamente en el caso de Nantes, mientras que para los modelos en los que se tienen en cuenta variables de la encuesta PR sucede algo similar a lo que sucede en sus homólogos del tipo MNL (véanse anexos del A16 al A21).

ML (EC)

En los modelos de todas las localizaciones se obtienen desviaciones aleatorias significativas asociadas a las alternativas de transporte público. Esto afecta a los valores de las ASC de forma similar a como lo hacía la consideración del nido en los modelos NL, lo que parece lógico puesto que con estas desviaciones se pretende modelizar ciertas correlaciones que pueden existir entre estas alternativas. Puede verse en la siguiente tabla que en Nantes y en Lille no se aprecian diferencias significativas entre los valores de las ASC de las alternativas de transporte público, mientras que en el resto de localizaciones las ASC sí son significativamente diferentes.

Model ML13(EC)	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT-FERRAND		LILLE		A CORUÑA		VITORIA-GASTEIZ	
Coefficient	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	-0.159	-0.22	-1.74	-1.96	0.121	0.15	0.403	0.7	-0.594	-1.25	-1.75	-2.71
ASC3	-0.109	-0.15	-1.38	-1.54	0.776	0.98	0.549	0.96	-1.36	-2.91	-2.05	-3.17
$\beta_{t,1}$	-0.142	-6.44	-0.153	-5.85	-0.167	-6.94	-0.152	-8.81	-0.154	-11	-0.121	-6.04
$\beta_{t,pt}$	-0.145	-11.8	-0.171	-10.1	-0.161	-11.4	-0.161	-16	-0.131	-15.7	-0.114	-9.93
$\beta_{c,1}$	-0.723	-8	-0.732	-6.65	-0.668	-6.97	-0.837	-11.5	-0.992	-12.6	-1.1	-9.3
$\beta_{c,pt}$	-0.646	-2.54	-0.825	-2.66	-1.46	-5.52	-1.37	-6.64	-1.79	-7.9	-1.02	-4.05
β_f	-0.0296	-1.52	0.0233	0.89	-0.0344	-1.58	-0.0472	-3.13	-0.0406	-2.8	-0.0109	-0.57
* β_{nt0}	0.573	-	0.3915	-	0.486	-	0.4763	-	0.2823	-	0.64634	-
β_{nt1}	-0.135	-1.33	0.0785	0.6	-0.14	-1.28	0.0217	0.28	0.0837	1.22	0.00566	0.06
β_{nt2}	-0.438	-4.24	-0.47	-3.39	-0.346	-3.07	-0.498	-5.96	-0.366	-5.07	-0.652	-6.12
$\beta_{ptA,pt}$	0.656	5.62	0.67	4.36	0.459	3.62	0.447	5.09	0.354	4.57	0.549	4.92
$\beta_{ptB,pt}$	-0.16	-1.42	-0.158	-1.09	-0.0277	-0.24	0.0853	0.97	-0.053	-0.68	-0.188	-1.72
* $\beta_{ptC,pt}$	-0.496	-	-0.512	-	-0.4313	-	-0.5323	-	-0.301	-	-0.361	-
opt	1.99	7.62	2.34	7.09	2.6	7.92	2.53	10.66	2.15	12.56	2.66	8.5
ECpt	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Correlation (ASC2-ASC3)	0.985	-0.4	0.982	-2.11	0.985	-4.7	0.986	-1.49	0.98	8.19	0.982	2.38
Halton draws	1000		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	12		12		12		12		12		12	
N observations	679		594		727		1319		1910		902	
n individuals	77		68		83		150		219		104	
Init log-likelihood	-692.837		-539.182		-703.988		-1282.19		-1751.027		-817.522	
Final log-likelihood	-520.254		-367.866		-495.99		-912.678		-1238.363		-603.309	
Adjusted rho-square	0.286		0.418		0.364		0.362		0.404		0.379	

Tabla 5.42. Modelos ML(EC) de referencia para diferentes localizaciones: Exp. 1 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

En lo que respecta al resto de modelos ML(EC), se obtienen resultados que se asemejan a los anteriores tanto en los modelos por PARES en los que se considera la "categoría A" del tipo de transporte público como específica (ML13-ptA(EC)), como en los modelos en los que introducen atributos de la sección PR de la encuesta.

ML (RC)

De nuevo el modelo que presenta una mayor log-verosimilitud, en líneas generales, es aquel en el que se considera variación aleatoria en el tiempo de viaje de forma genérica para el transporte público, permitiendo también la variación aleatoria del tiempo en coche (ML13-t1,pt(RC)). En todas las localizaciones las desviaciones aleatorias asociadas a estos atributos son significativas.

Las tendencias seguidas por los valores de las ASC, test estadísticos asociados, y otros aspectos relacionados, son las mismas que las reflejadas en los modelos anteriores de esta línea de actuación.

Model ML13-t1,pt(RC)	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT- FERRAND		LILLE		A CORUÑA		VITORIA- GASTEIZ	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	0.176	0.23	-0.83	-0.97	1.08	1.31	0.921	1.59	0.326	0.7	-0.478	-0.74
ASC3	0.253	0.34	-0.476	-0.55	1.7	2.08	1.11	1.92	-0.536	-1.15	-0.857	-1.33
$\beta_{t,1}$	-0.148	-5.45	-0.123	-4.19	-0.184	-4.95	-0.189	-7.88	-0.163	-9.76	-0.105	-4.21
$\beta_{t,pt}$	-0.176	-9.82	-0.195	-8.78	-0.216	-7.12	-0.205	-12.5	-0.16	-12.7	-0.158	-6.88
$\beta_{c,1}$	-0.725	-7.82	-0.721	-6.52	-0.683	-6.76	-0.855	-11.4	-1.05	-12.6	-1.16	-9.21
$\beta_{c,pt}$	-0.645	-2.44	-0.711	-2.29	-1.49	-5.39	-1.37	-6.36	-1.8	-7.54	-0.977	-3.68
β_f	-0.0309	-1.52	0.0251	0.94	-0.0291	-1.29	-0.0465	-2.97	-0.0461	-2.99	-0.0173	-0.84
* β_{nt0}	0.529	-	0.3655	-	0.472	-	0.4655	-	0.3134	-	0.67182	-
β_{nt1}	-0.14	-1.33	0.0735	0.55	-0.156	-1.36	0.0145	0.18	0.0676	0.94	0.00818	0.08
β_{nt2}	-0.389	-3.68	-0.439	-3.17	-0.316	-2.75	-0.48	-5.58	-0.381	-5.02	-0.68	-6.07
$\beta_{ptA,pt}$	0.654	5.46	0.664	4.28	0.489	3.59	0.491	5.36	0.44	5.25	0.646	5.3
$\beta_{ptB,pt}$	-0.18	-1.48	-0.17	-1.14	-0.054	-0.44	0.0615	0.66	-0.125	-1.43	-0.257	-2.06
* $\beta_{ptC,pt}$	-0.474	-	-0.494	-	-0.435	-	-0.5525	-	-0.315	-	-0.389	-
σ_{t1}	0.103	3.59	0.108	5.2	0.0953	2.57	0.124	6.06	0.13	10.44	0.15	4.41
σ_{tpt}	0.0864	4.39	0.0539	3.3	0.0976	3.67	0.0829	7.89	0.102	10.49	0.108	3.97
Correlation (ASC2-ASC3)	0.985	-0.59	0.98	-2.08	0.984	-4.25	0.985	-1.83	0.977	8.6	0.978	2.8
Halton draws	1000		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	13		13		13		13		13		13	
N observations	679		594		727		1319		1910		902	
n individuals	77		68		83		150		219		104	
Init log-likelihood	-836.031		-577.245		-751.706		-1408.065		-1989.542		-976.185	
Final log-likelihood	-512.491		-367.771		-486.858		-899.616		-1222.695		-586.647	
Adjusted rho-square	0.296		0.417		0.374		0.37		0.411		0.395	

Tabla 5.43. Modelos ML13-t1,pt(RC) para diferentes localizaciones: Exp. 1 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

En los modelos que presentan variaciones aleatorias para las ASC de las alternativas se observa que, de nuevo, la desviación de referencia es la correspondiente a la alternativa autobús en todas las localizaciones excepto en una (en esta ocasión se trata de Valenciennes). Existe por tanto una heteroscedasticidad significativa entre alternativas, siendo en todos los casos la correspondiente al coche (σ_{ASCI}) la que presenta mayor variabilidad en la población, tal y como sucedía en la anterior línea de actuación.

Model ML13-ASCI(RC)	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT-FERRAND		LILLE		A CORUÑA		VITORIA-GASTEIZ	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	-0.0077	-0.01	-1.66	-1.72	0.583	0.71	0.743	1.27	-0.32	-0.66	-1.54	-2.32
ASC3	-0.0246	-0.03	-0.909	-0.96	1.17	1.41	0.763	1.29	-1.38	-2.83	-2.02	-3.03
$\beta_{t,1}$	-0.145	-6.44	-0.172	-6.04	-0.168	-6.8	-0.156	-8.83	-0.159	-11	-0.121	-5.97
$\beta_{t,pt}$	-0.156	-11.4	-0.22	-9.4	-0.178	-11.2	-0.178	-15.5	-0.148	-15.5	-0.125	-9.82
$\beta_{c,1}$	-0.745	-8.07	-0.813	-6.8	-0.697	-7.04	-0.875	-11.6	-1.04	-12.7	-1.14	-9.34
$\beta_{c,pt}$	-0.677	-2.6	-1.03	-3.01	-1.61	-5.77	-1.47	-6.81	-1.9	-8.06	-1.08	-4.15
β_f	-0.0298	-1.45	0.034	1.08	-0.0396	-1.66	-0.0508	-3.12	-0.0404	-2.57	-0.0108	-0.53
$*\beta_{nt0}$	0.593	-	0.418	-	0.558	-	0.5113	-	0.273	-	0.6721	-
β_{nt1}	-0.136	-1.29	0.133	0.88	-0.175	-1.46	0.0217	0.27	0.106	1.45	0.0309	0.31
β_{nt2}	-0.457	-4.26	-0.551	-3.46	-0.383	-3.19	-0.533	-6.01	-0.379	-4.95	-0.703	-6.19
$\beta_{ptA,pt}$	0.7	5.67	0.838	4.55	0.476	3.5	0.485	5.17	0.404	4.82	0.607	5.1
$\beta_{ptB,pt}$	-0.187	-1.58	-0.264	-1.53	-0.0175	-0.14	0.0633	0.68	-0.0725	-0.88	-0.219	-1.89
$*\beta_{ptC,pt}$	-0.513	-	-0.574	-	-0.4585	-	-0.5483	-	-0.3315	-	-0.388	-
σ_{ASC1}	1.99	7.55	2.65	6.83	2.59	7.62	2.57	10.31	2.23	12.37	2.71	8.18
σ_{ASC2}	0	-	1.98	4.88	0	-	0	-	0	-	0	-
σ_{ASC3}	0.797	3.87	0	-	1.07	4.72	1.03	6.15	1.18	7.27	1.01	4.59
Correlation (ASC2-ASC3)	0.975	0.1	0.936	-0.35	0.973	-3.92	0.971	-0.14	0.951	6.99	0.959	2.58
Halton draws	1000		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	13		13		13		13		13		13	
N observations	679		594		727		1319		1910		902	
n individuals	77		68		83		150		219		104	
Init log-likelihood	-745.958		-652.576		-798.691		-1449.07		-2098.349		-990.948	
Final log-likelihood	-516.08		-350.203		-488.326		-899.888		-1217.688		-596.371	
Adjusted rho-square	0.291		0.443		0.372		0.37		0.413		0.385	

Tabla 5.44. Modelos ML13-ASCI(RC) para diferentes localizaciones: Exp. 1 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

5.5. Casos de estudio particulares

5.5.1. Influencia de la etiqueta mostrada en el modo ferroviario en el caso de A Coruña

5.5.1.1. Introducción: el tranvía turístico de A Coruña

Uno de los enfoques principales para estudiar la existencia de un *rail factor* en la presente investigación se basa en el análisis de los valores de las ASC de las diferentes alternativas del transporte público. Para esto deben emplearse experimentos etiquetados, en los que el nombre o etiqueta dada a cada una de las alternativas supone por sí misma una fuente de información para cada uno de los encuestados. Esta información está almacenada en la memoria a largo plazo tal y como se comentó en el punto 2.5.3.3 (enfoque basado en esquemas).

Las etiquetas mostradas en el ejercicio de elección dotan de mayor realismo al experimento, aunque en ciertos casos concretos la elección de la etiqueta puede resultar un inconveniente, tal y como sucede en el caso de A Coruña: debido a la existencia en el pasado reciente de la ciudad de un tranvía turístico, es posible que los usuarios asocien sus características a las de un hipotético sistema ferroviario de capacidad intermedia, puesto que es la única referencia conocida de sistema ferroviario de transporte público urbano que tienen en su memoria.

Esta problemática, que ha sido tratada en el apartado 3.9, es el motivo por el que se ha planteado en esta localización una segunda encuesta, denominada complementaria, en la que se mantienen los valores de los atributos de todas las alternativas pero se cambia la etiqueta del modo ferroviario. Mientras que en la primera encuesta (denominada como final) este se presentó como “tranvía”, en la encuesta complementaria se presenta como “metro ligero”.

A continuación se muestran 3 procedimientos comparativos que sustentan el análisis, y que se basan en el experimento 2. El motivo de emplear observaciones de este experimento es que se busca aislar los posibles efectos de la etiqueta sobre las ASC, y que no se confundan con los de los parámetros asociados a las categorías del atributo tipo de transporte público. Por último, cabe señalar que aunque las 2 encuestas se realizan entre alumnos del campus de Elviña, la mayor parte de los individuos encuestados solamente se sometieron a 1 de las 2 encuestas, considerándose por lo tanto encuestas independientes.

5.5.1.2. Comparación directa entre autobús y modo ferroviario

En primer lugar se realiza una comparación entre los modelos de referencia MNL obtenidos mediante las 2 encuestas, teniendo en cuenta observaciones pertenecientes al escenario A. En la tabla siguientes A Coruña 1 se refiere a los modelos obtenidos mediante datos de la encuesta final, es decir, en la que se muestra la etiqueta “tranvía” para la alternativa ferroviaria, mientras que A Coruña 2 alude a modelos obtenidos mediante datos de la encuesta complementaria (mostrando la etiqueta “metro ligero”). En ambos casos las ASC para la alternativa ferroviaria son significativas y menores que cero, lo que implica una preferencia a priori por el autobús. No puede concluirse nada más de forma directa respecto a la variación de sus valores en los distintos modelos, puesto que los demás coeficientes también sufren variaciones importantes al variar la escala del modelo.

Model	MNL10 A Coruña 1		MNL10 A Coruña 2	
	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient				
ASC2	0	-	0	-
ASC3	-0.808	-12.2	-0.459	-7.07
$\beta_{t,pt}$	-0.107	-15.6	-0.0948	-11.9
$\beta_{c,pt}$	-2.33	-9.06	-1.22	-6.54
β_f	-0.0639	-6.37	-0.0495	-4.48
* β_{nt0}	0.53833	-	0.219	-
β_{nt1}	0.00567	0.11	0.292	1.81
β_{nt2}	-0.544	-10.5	-0.511	-5.55
K parameters	6		6	
N observations	1725		1274	
n individuals	1725		1274	
Init log-likelihood	-1195.679		-883.07	
Final log-likelihood	-829.246		-719.117	
Adjusted rho-square	0.301		0.179	

Tabla 5.45. Modelos MNL de referencia para las 2 encuestas en A Coruña: Exp. 2 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Dado que los modelos trabajan en diferencias y que en la especificación de la utilidad todos los coeficientes se expresan de forma genérica para las alternativas de transporte público, la probabilidad de elección de estas 2 alternativas disponibles puede hallarse según la expresión (5.42). Los valores de estas probabilidades se presentan en la tabla siguiente.

	MNL10	
	A Coruña 1	A Coruña 2
ASC ₃	-0.808	-0.459
P _{bus-based}	69.17%	61.28%
P _{rail-based}	30.83%	38.72%
P _{bus-based} - P _{rail-based}	38.34%	22.56%

Tabla 5.46. Probabilidad de elección de las alternativas de transporte público para las 2 encuestas en A Coruña:

Exp. 2 / Esc. A

La probabilidad de elección del modo ferroviario se ve afectada por la etiqueta, siendo aproximadamente un 8% mayor para el segundo caso (etiqueta “metro ligero”), aunque la probabilidad de elección siga siendo mayor para el autobús en ambos casos. En cualquier caso, esta diferencia en las probabilidades de elección en ambas muestras

podría ser un indicio de la distinta percepción de los usuarios ante las etiquetas “tranvía” y “metro ligero”.

5.5.1.3. El coche y la correlación entre alternativas de transporte público

Dadas las características particulares del Campus de Elviña (ubicación en las afueras, en un corredor de acceso/salida, sin apenas accesos peatonales, con aparcamiento gratuito, etc.), el coche es la opción más empleada en los desplazamientos al mismo (Pérez et al., 2010). Por este motivo se considera la introducción de esta alternativa en el ejercicio de elección a la hora de estudiar la influencia del cambio de etiqueta. Además, esta opción permite analizar si existe correlación entre las alternativas de transporte público, y cómo influye el cambio de etiqueta en la misma. Los resultados de los modelos analizados se muestran en la tabla siguiente.

Model	MNL10 A Coruña 1		MNL10 A Coruña 2		NL10 A Coruña 1		NL10 A Coruña 2	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient								
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	0.739	2.1	0.427	1.1	-0.0247	-0.06	0.243	0.59
ASC3	-0.0275	-0.08	0.0134	0.04	-0.584	-1.61	-0.12	-0.31
$\beta_{t,1}$	-0.085	-8.33	-0.0878	-7.63	-0.0844	-8.52	-0.0856	-7.38
$\beta_{t,pt}$	-0.113	-15.9	-0.113	-12.6	-0.0861	-8.53	-0.105	-9.02
$\beta_{c,1}$	-0.761	-13.2	-0.973	-11.1	-0.729	-12.8	-0.941	-10.5
$\beta_{c,pt}$	-1.36	-7.24	-1.7	-6.69	-1.14	-6.33	-1.58	-6.13
β_f	-0.0618	-4.72	-0.0574	-3.72	-0.0405	-3.83	-0.0511	-3.41
* β_{nt0}	0.3567	-	0.325	-	0.25312	-	0.271	-
β_{nt1}	-0.0407	-0.67	0.124	0.55	0.00388	0.09	0.141	0.69
β_{nt2}	-0.316	-4.75	-0.449	-3.21	-0.257	-4.9	-0.412	-3.21
λ_{nest1}					1	-	1	-
** λ_{nestpt}					1.59	2.69	1.18	0.99
K parameters	9		9		10		10	
N observations	1974		1434		1974		1434	
n individuals	1974		1434		1974		1434	
Init log-likelihood	-2168.661		-1575.41		-2164.588		-1571.986	
Final log-likelihood	-1453.494		-1010.96		-1447.331		-1010.378	
Adjusted rho-square	0.326		0.353		0.328		0.352	

Tabla 5.47. Modelos MNL y NL de referencia para las dos encuestas en A Coruña: Exp. 2 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

** El test-t realizado para el parámetro de nido λ_{nestpt} se calcula respecto a 1 siendo además un test de una cola

De nuevo, en ambos casos las diferencias entre las ASC de las alternativas de transporte público favorecen al autobús. Mientras que con la encuesta final existe

correlación entre estas alternativas “autobús” y “tranvía” (parámetro de nido λ_{nestpt} , significativamente distinto de 1), para la segunda encuesta no existe esta correlación. Esto puede indicar que los encuestados no aprecien similitudes suficientes entre las alternativas de transporte público como para que exista esta correlación cuando se les presenta el modo ferroviario como “metro ligero”.

5.5.1.4. La percepción de los usuarios habituales

Para finalizar se estudian las diferencias existentes entre los modelos en los que se tiene en cuenta la experiencia previa de los encuestados con la red de transporte público PR. Se considera de nuevo en este caso el escenario A para realizar una comparación directa entre el autobús y el modo ferroviario.

Model	MNL10-u A Coruña 1		MNL10-u A Coruña 2	
	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient				
ASC2	0	-	0	-
ASC3	-0.781	-11.2	-0.462	-6.86
$\beta_{t,pt}$	-0.106	-15.6	-0.0948	-11.9
$\beta_{c,pt}$	-2.33	-9.04	-1.22	-6.54
β_f	-0.0642	-6.38	-0.0495	-4.48
* β_{nt0}	0.54038	-	0.219	-
β_{nt1}	0.00462	0.09	0.292	1.81
β_{nt2}	-0.545	-10.5	-0.511	-5.55
* $\beta_{nu,3}$	0.0798	-	-0.0094	-
$\beta_{u,3}$	-0.0798	-1.22	0.00941	0.14
K parameters	7		7	
N observations	1725		1274	
n individuals	1725		1274	
Init log-likelihood	-1195.679		-883.07	
Final log-likelihood	-828.499		-719.107	
Adjusted rho-square	0.301		0.178	
Likelihood ratio test:	MNL10/MNL10-u		MNL10/MNL10-u	
-2 (LL(β_r)-LL(β))	1.494		0.02	
d.f.	1		1	
LRT I.v. (95%)	3.84146		3.84146	
LR (MNL10-MNLi)	77.84%		11.25%	

Tabla 5.48. Modelos MNL considerando la experiencia previa en la red de transporte público PR para las 2 encuestas en A Coruña: Exp. 2 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

En la tabla anterior puede apreciarse que los valores de las ASC para el modo ferroviario ($ASC3$) son significativos y menores que cero (desfavorables). Además, atendiendo a los valores de los test-t para los parámetros del atributo usuario habitual ($\beta_{u,3}$), se observa que estos parámetros no son significativamente distintos de cero.

Los valores de los test de razón de verosimilitud (LR) indican que no es justificable introducir la variable usuario habitual en el modelo, debido a la insuficiente capacidad explicativa que aporta la misma sobre el fenómeno estudiado. Sin embargo, la gran diferencia que existe entre los ambos modelos a la hora de calcular este test (77.84% frente a 11.25%) podría constituir un indicador de que la experiencia previa con la red de transporte público PR influye de forma diferente en la percepción de los encuestados en función de la etiqueta, aunque esta influencia es apenas apreciable en términos generales en ambos casos.

Para finalizar con este apartado se destaca que los resultados obtenidos en el proceso de modelización con observaciones de la encuesta complementaria correspondiente a la ciudad de A Coruña, se encuentran recogidos en el anexo A22.

5.5.2. Coexistencia de SCI con modo de transporte con plataforma independiente (VAL de Lille)

5.5.2.1. Introducción: el VAL de Lille

Tal y como se ha detallado en el apartado 4.3.2., en la ciudad francesa de Lille conviven 3 tipos de transporte público urbano colectivo: una red mejorada de autobuses, 2 líneas de LRT y el VAL (Vehículo Automático Ligero). Este último es un transporte ferroviario que emplea una plataforma independiente (categoría A), y que por tanto está claramente diferenciado del LRT (como SCI metropolitano con un uso de la infraestructura categoría B).

Por tanto, en este caso podría plantearse la siguiente pregunta: ¿influye la coexistencia de estos 2 modos ferroviarios en la imagen que tienen los usuarios de la alternativa ferroviaria hipotética presentada en el ejercicio de elección PD?, y de ser así, ¿en qué medida afecta a la elección de modo de transporte?

Para dar respuesta a estas preguntas se han planteado 2 procedimientos:

- En primer lugar se han estimado modelos análogos a los de las diferentes localizaciones vistas hasta el momento, considerando 2 bases de datos adicionales. En la primera se han agrupado las observaciones correspondientes a todas las ciudades francesas, mientras que en la segunda se excluyen las observaciones pertenecientes a los encuestados de Lille (es decir, se tienen en cuenta Nantes, Valenciennes y Clermont-Ferrand). Por lo tanto, las diferencias halladas en los modelos con las mismas especificaciones de la utilidad serán debidas a las observaciones de Lille, por lo que las mismas podrían estar relacionadas con la presencia del VAL. Para analizar este efecto se estudian los modelos de referencia en los que el VAL forma parte de alguna variable influyente, es decir, aquellos en los que se considera la elección de modo PR (en este caso el VAL se incluye en la categoría transporte público ferroviario). Los resultados obtenidos con las bases de datos “ciudades francesas” y “ciudades francesas excepto Lille” se muestran en los anexos A24 y A25, respectivamente.
- El segundo procedimiento consiste en realizar una serie de estimaciones adicionales para el caso de Lille, en las que se divide la cuarta categoría de elección de modo de transporte PR (categoría “transporte público ferroviario”) en 2: una en la que se consideran los desplazamientos PR realizados en LRT (84 encuestados) y otra en la que se agrupan los desplazamientos PR efectuados en VAL (101 encuestados). El propio hecho de que los encuestados que se desplazaron en VAL lo indicasen en la categoría “otro” modo de transporte de la sección PR de la encuesta, supuso una motivación extra para realizar este caso de estudio particular. Los resultados obtenidos para estos 86 modelos adicionales pueden verse en el anexo A23.

De nuevo se consideran exclusivamente observaciones correspondientes al experimento 2 con el objetivo de aislar los efectos de la variable tipo de transporte público sobre la elección de modo PD.

5.5.2.2. Ciudades francesas frente a Lille

Escenario A

Para los modelos MNL estimados con observaciones del escenario A, la probabilidad de elección de la alternativa PD ferroviaria es mayor en el caso de la BBDD de todas las ciudades francesas (53.69% frente al 52.21% para las ciudades francesas excepto Lille, véanse anexos A24 y A25). Esta diferencia, que por otro lado es apenas

perceptible, podría deberse a la presencia del VAL o bien a otros aspectos sociales o económicos diferentes.

Mediante un análisis de estimaciones MNL10-ch en las que se considera el atributo elección de modo de transporte PR como influyente en la elección PD en cada una de las ciudades francesas, puede observarse como la introducción de este atributo tiene efectos diferentes en la modelización correspondiente a Lille: se trata del único caso en el que la categoría de referencia muestra un efecto negativo en la elección de modo ferroviario PD ($\beta_{ch1,3} < 0$), y además es la única especificación que mejora significativamente la capacidad explicativa del modelo MNL10 de referencia correspondiente (test LR).

Model MNL10-ch	NANTES		VALENCIENNES		CLERMONT-FERRAND		LILLE	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient								
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	-0.144	-1.11	0.399	3.42	-0.021	-0.13	-0.264	-2.75
$\beta_{t,pt}$	-0.179	-10.37	-0.127	-8.74	-0.136	-9.4	-0.162	-15.94
$\beta_{c,pt}$	-1.77	-4.45	-1.39	-3.74	-1.05	-3.01	-1.76	-7.37
β_f	-0.109	-4.67	-0.0193	-1.11	-0.0783	-4.4	-0.0788	-6.73
* β_{nt0}	0.475	-	0.3824	-	0.3098	-	0.341	-
β_{nt1}	0.2	1.69	-0.0964	-0.98	0.0262	0.27	0.113	1.72
β_{nt2}	-0.675	-5.91	-0.286	-2.86	-0.336	-3.43	-0.454	-6.81
* $\beta_{ch1,3}$	0.3213	-	0.026	-	0.104	-	-0.128	-
$\beta_{ch2,3}$	-0.107	-0.47	0.273	1.7	0.259	1.22	0.374	2.58
$\beta_{ch3,3}$	-0.174	-0.82	0	-	-0.873	-2.21	-0.711	-3.39
$\beta_{ch4,3}$	-0.0403	-0.16	-0.299	-1.88	0.51	1.84	0.465	3.99
K parameters	9		8		9		9	
N observations	530		457		504		1334	
Init log-likelihood	-367.368		-316.768		-349.346		-924.658	
Final log-likelihood	-210.35		-237.177		-253.876		-613.375	
Adjusted rho-square	0.403		0.226		0.248		0.327	
Likelihood ratio test:	MNL10/MNL10-ch		MNL10/MNL10-ch		MNL10/MNL10-ch		MNL10/MNL10-ch	
-2 (LL(β_r)-LL(β))	3.032		4.452		5.94		23.122	
d.f.	3		2		3		3	
LRT l.v. (95%)	7.81473		5.99146		7.81473		7.81473	
LR (MNL10-MNLi)	61.33%		89.20%		88.54%		100.00%	

Tabla 5.49. Modelos MNL10-ch (elección de modo de transporte PR) para cada una de las ciudades francesas estudiadas: Exp. 2 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Si se analiza esta misma especificación para la BBDD que contiene de forma conjunta las encuestas de todas las ciudades francesas (*France*), y para la BBDD que contiene las encuestas de todas las ciudades francesas excepto Lille (*Non-Lille*), se concluye que el haber elegido un modo ferroviario PR influye positivamente en la elección de esta alternativa PD ($\beta_{ch4,3} > 0$). Esto sucede en mayor medida si se tienen en cuenta

todas las ciudades francesas, frente al caso en el que no se tiene en cuenta Lille en la BBDD (como puede apreciarse en la tabla 5.51.).

De hecho, el valor del ratio correspondiente al coeficiente asociado a la categoría “elección de modo ferroviario PR” es el que presenta una mayor variación. Estos ratios se obtienen mediante la división directa del coeficiente asociado a cada atributo entre el valor absoluto del coeficiente asociado al coste, y son útiles para comparar directamente los resultados obtenidos en diferentes modelos. De esta forma se obtiene el valor de la disponibilidad a pagar por ahorros en el atributo correspondiente (*Willigness To Pay*, WTP), el cual es un indicador ampliamente empleado en el ámbito del transporte (Ortúzar & Willumsen, 2011, p. 512). En la tabla siguiente se presentan los valores obtenidos para cada una de las 2 BBDD, así como la diferencia que presentan los valores de cada uno de estos ratios (última columna).

Model	MNL10-ch France	MNL10-ch Non-Lille	MNL10-ch France - Non-Lille
Ratio	Value	Value	Value
ASC2 / abs(β_c, pt)	0	0	0
ASC3 / abs(β_c, pt)	-0.020	0.048	-0.068
$\beta_{t,pt}$ / abs(β_c, pt)	-0.100	-0.109	0.009
$\beta_{c,pt}$ / abs(β_c, pt)	-1	-1	0
β_f / abs(β_c, pt)	-0.047	-0.048	0.001
* β_{nt0} / abs(β_c, pt)	0.243	0.297	-0.054
β_{nt1} / abs(β_c, pt)	0.042	0.010	0.033
β_{nt2} / abs(β_c, pt)	-0.285	-0.307	0.022
* $\beta_{ch1,3}$ / abs(β_c, pt)	0.076	0.107	-0.031
$\beta_{ch2,3}$ / abs(β_c, pt)	0.171	0.180	-0.009
$\beta_{ch3,3}$ / abs(β_c, pt)	-0.378	-0.320	-0.058
$\beta_{ch4,3}$ / abs(β_c, pt)	0.131	0.033	0.098

Tabla 5.50. Valores normalizados de los parámetros en modelos MNL10-ch (elección de modo de transporte PR) para Francia y ciudades francesas excepto Lille: Exp. 2 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

También merece la pena destacar que los valores que multiplican variables de nivel de servicio continuas (es decir, el tiempo y el intervalo entre vehículos) son prácticamente idénticos, lo que implica disponibilidades a pagar por ahorros de tiempo muy similares. Las principales diferencias se encuentran en la variación de los atributos en categorías y en el efecto asociado a las ASC. Los cambios en los valores de los ratios correspondientes a los coeficientes asociados al número de transbordos (β_{nt0}/β_c , β_{nt1}/β_c y β_{nt2}/β_c) parecen grandes si se consideran sus variaciones porcentuales, pero si se consideran conjuntamente los 3 niveles puede apreciarse que la influencia del

número de transbordos se mantiene muy similar y con un carácter marcadamente lineal.

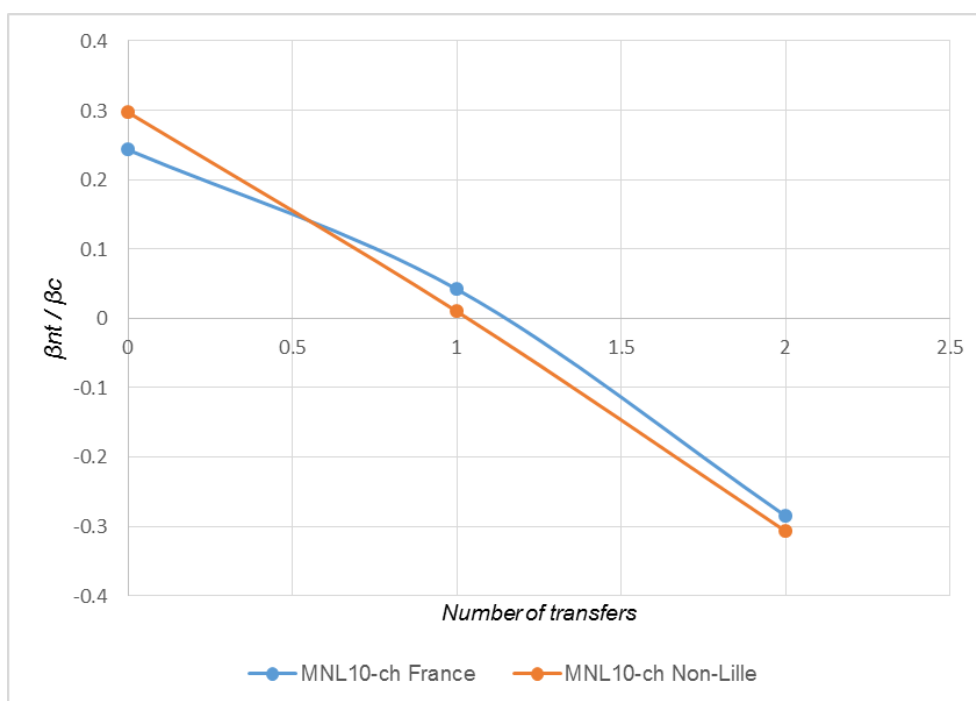


Fig. 5.4. Variación del ratio normalizado β_{nt}/β_c en modelos MNL10-ch (elección de modo de transporte PR) para Francia y ciudades francesas excepto Lille: Exp. 2 / Esc. A

Otro indicador de las repercusiones de la introducción del VAL se observa en el análisis de los modelos ML10-ch4,3(RC), es decir, el modelo logit mixto en el que se permite variación aleatoria del parámetro asociado a la categoría “elección de modo de transporte ferroviario PR”, para la alternativa ferroviaria en el ejercicio PD.

En líneas generales los resultados de estos modelos siguen tendencias muy similares a las que seguían los anteriores modelos MNL10-ch. Además, se observa que el valor de la variación aleatoria asociada es mayor y con un valor mayor del test-t para el caso de Francia, lo que puede deberse a que en Lille existe una mayor diferencia en la percepción de modos ferroviarios respecto al resto de ciudades francesas (motivada por el hecho de que en esta ciudad conviven el LRT y el VAL).

Model	MNL10-ch France		MNL10-ch Non-Lille		ML10-ch43(RC) France		ML10-ch43(RC) Non-Lille	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient								
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	-0.0293	-0.53	0.063	0.86	-0.0329	-0.53	0.0618	0.78
$\beta_{t,pt}$	-0.15	-23.2	-0.143	-16.8	-0.157	-22.8	-0.147	-16.5
$\beta_{c,pt}$	-1.5	-9.71	-1.31	-6.33	-1.59	-9.88	-1.35	-6.39
β_f	-0.0702	-8.93	-0.0623	-5.79	-0.0735	-8.95	-0.0644	-5.82
* β_{nt0}	0.3643	-	0.3892	-	0.3807	-	0.4004	-
β_{nt1}	0.0637	1.47	0.0128	0.22	0.0693	1.57	0.0146	0.25
β_{nt2}	-0.428	-9.95	-0.402	-7.03	-0.45	-10.2	-0.415	-7.12
* $\beta_{ch1,3}$	0.114	-	0.1397	-	0.109	-	0.1425	-
$\beta_{ch2,3}$	0.257	2.96	0.236	2.09	0.268	2.92	0.244	2.07
$\beta_{ch3,3}$	-0.567	-4.53	-0.419	-2.63	-0.579	-4.47	-0.422	-2.59
$\beta_{ch4,3}$	0.196	2.55	0.0433	0.35	0.202	2.16	0.0355	0.24
σ_{ch43}					0.674	6.72	0.536	3.59
Halton draws	-		-		1000		1000	
K parameters	9		9		10		10	
N observations	2825		1491		2825		1491	
n individuals	2825		1491		320		169	
Init log-likelihood	-1958.141		-1033.482		-1987.201		-1050.19	
Final log-likelihood	-1341.265		-719.94		-1330.223		-717.338	
Adjusted rho-square	0.31		0.295		0.316		0.296	
Likelihood ratio test:					MNL10-ch/ML10-		MNL10-ch/ML10-	
					ch43(EC)		ch43(EC)	
-2 (LL(β_r)-LL(β))					22.084		5.204	
d.f.					1		1	
LRT I.v. (95%)					3.84146		3.84146	
LR (MNL10-MLi)					100.00%		97.75%	

Tabla 5.51. Modelos MNL10-ch y ML10-ch4,3(RC) (elección de modo de transporte PR) para Francia y ciudades francesas excepto Lille: Exp. 2 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

De nuevo se aprecia que la mayor diferencia en los valores de los parámetros normalizados se da en el ratio correspondiente a este parámetro ($\beta_{ch4,3}$).

Model	ML10- ch43(RC) France	ML10- ch43(RC) Non-Lille	ML10-ch43(RC) France - Non-Lille
	Value	Value	Value
Ratio			
ASC2 / abs($\beta_{c,pt}$)	0	0	0
ASC3 / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.021	0.046	-0.066
$\beta_{t,pt}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.099	-0.109	0.010
$\beta_{c,pt}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	-1	-1	0
β_f / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.046	-0.048	0.001
* β_{nt0} / abs($\beta_{c,pt}$)	0.239	0.297	-0.057
β_{nt1} / abs($\beta_{c,pt}$)	0.044	0.011	0.033
β_{nt2} / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.283	-0.307	0.024
* $\beta_{ch1,3}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	0.069	0.106	-0.037
$\beta_{ch2,3}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	0.169	0.181	-0.012
$\beta_{ch3,3}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.364	-0.313	-0.052
$\beta_{ch4,3}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	0.127	0.026	0.101

Tabla 5.52. Valores normalizados de los parámetros en modelos ML10-ch4,3(RC) (elección de modo de transporte PR) para Francia y ciudades francesas excepto Lille: Exp. 2 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Si se analizan los resultados para este tipo de modelos en cada una de las localizaciones estudiadas puede apreciarse que el caso de Lille es el único en el que se dan las siguientes circunstancias de forma simultánea:

- La variación aleatoria asociada a la categoría “elección de modo ferroviario PR” es significativamente distinta de cero ($\sigma_{ch4,3}$).
- El efecto de la categoría “elección de modo no motorizado PR” ($\beta_{ch1,3}$) es negativo (y por tanto perjudicial para la elección de modo ferroviario en el ejercicio PD).
- Los coeficientes asociados a todas las categorías del atributo elección de modo PR son significativamente distintos de cero.
- Este modelo mejora al modelo MNL10 de referencia.

Model ML10- ch43(RC)	Nantes		Valenciennes		Clermont- Ferrand		Lille	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient								
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	-0.144	-1.11	0.449	2.44	-0.021	-0.13	-0.288	-2.56
$\beta_{t,pt}$	-0.179	-10.4	-0.145	-8.61	-0.136	-9.4	-0.173	-15.6
$\beta_{c,pt}$	-1.77	-4.45	-1.61	-3.95	-1.05	-3.01	-1.9	-7.56
β_f	-0.109	-4.67	-0.0229	-1.21	-0.0783	-4.4	-0.0841	-6.72
* β_{nt0}	0.475	-	0.443	-	0.3098	-	0.361	-
β_{nt1}	0.2	1.69	-0.112	-1.05	0.0262	0.27	0.125	1.84
β_{nt2}	-0.675	-5.91	-0.331	-3.07	-0.336	-3.43	-0.486	-7.03
* $\beta_{ch1,3}$	0.3213	-	0.056	-	0.104	-	-0.174	-
$\beta_{ch2,3}$	-0.107	-0.47	0.285	1.31	0.259	1.22	0.399	2.53
$\beta_{ch3,3}$	-0.174	-0.82	0	-	-0.873	-2.21	-0.724	-3.26
$\beta_{ch4,3}$	-0.0403	-0.16	-0.341	-1.25	0.51	1.84	0.499	3.44
σ_{ch43}	0.00039	0	1.18	4.25	0.001	0	0.793	5.49
Halton draws	1000		1000		1000		1000	
K parameters	10		9		10		10	
N observations	530		457		504		1334	
n individuals	60		52		57		151	
Init log-likelihood	-377.712		-313.248		-359.233		-936.952	
Final log-likelihood	-210.35		-227.742		-253.876		-604.736	
Adjusted rho-square	0.4		0.253		0.245		0.335	
Likelihood ratio test:	MNL10/ML10- ch43(EC)		MNL10/ML10- ch43(EC)		MNL10/ML10- ch43(EC)		MNL10/ML10- ch43(EC)	
-2 (LL(β_r)-LL(β))	3.032		23.322		5.94		40.4	
d.f.	4		3		4		4	
LRT l.v. (95%)	9.48773		7.81473		9.48773		9.48773	
LR (MNL10-MLi)	44.75%		100.00%		79.63%		100.00%	

Tabla 5.53. Modelos ML10-ch4,3(RC) (elección de modo de transporte PR) para cada una de las ciudades francesas estudiadas: Exp. 2 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Escenario B

En el caso del escenario B solamente se analizarán los resultados de modelos del tipo MNL, ya que las conclusiones que pueden extraerse de ellos son las mismas que las obtenidas para los resultados de modelos NL y ML (véanse anexos A24 y A25). En el escenario B pueden distinguirse 2 tipologías de modelos en los que se considera el modo de transporte PR elegido: parámetros específicos (MNL10-chS) o genéricos (MNL10-chG) de la elección de modo PR para las alternativas de transporte público. En ambos casos los individuos que escogieron un modo no motorizado PR son más proclives a elegir un modo de transporte público PD ($\beta_{ch1,i}>0$), mientras que los que escogieron transporte privado para el desplazamiento PR se mostrarán más reacios hacia el transporte público en el ejercicio PD ($\beta_{ch2,i}<0$).

Model	MNL10-chS France		MNL10-chS Non-Lille		MNL10-chG France		MNL10-chG Non-Lille	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	1.37	4.67	1.38	3.39	1.31	4.48	1.37	3.38
ASC3	1.32	4.49	1.38	3.42	1.36	4.64	1.38	3.43
$\beta_{t,1}$	-0.0973	-11.3	-0.0983	-8.39	-0.0975	-11.3	-0.0984	-8.41
$\beta_{t,pt}$	-0.139	-24.7	-0.145	-18.3	-0.138	-24.7	-0.145	-18.3
$\beta_{c,1}$	-0.586	-16.7	-0.539	-11.4	-0.584	-16.7	-0.54	-11.4
$\beta_{c,pt}$	-1.07	-9.39	-1.04	-6.73	-1.06	-9.35	-1.04	-6.74
β_f	-0.0648	-6.77	-0.0535	-3.94	-0.0655	-6.86	-0.0536	-3.95
* β_{nt0}	0.4892	-	0.567	-	0.495	-	0.567	-
β_{nt1}	-0.0382	-0.82	-0.106	-1.61	-0.045	-0.97	-0.107	-1.63
β_{nt2}	-0.451	-8.87	-0.461	-6.46	-0.45	-8.85	-0.46	-6.45
* $\beta_{ch1,2}$	0.332	-	0.359	-				
$\beta_{ch2,2}$	-1.03	-10.4	-1.08	-8.16				
$\beta_{ch3,2}$	0.305	2.42	0.332	2.01				
$\beta_{ch4,2}$	0.393	4.65	0.389	2.83				
* $\beta_{ch1,3}$	0.4034	-	0.354	-				
$\beta_{ch2,3}$	-1.03	-9.91	-1.06	-7.76				
$\beta_{ch3,3}$	-0.0374	-0.27	0.271	1.55				
$\beta_{ch4,3}$	0.664	7.63	0.435	3.12				
* $\beta_{ch1,pt}$					0.364	-	0.355	-
$\beta_{ch2,pt}$					-1.04	-12.9	-1.07	-10.1
$\beta_{ch3,pt}$					0.154	1.42	0.304	2.19
$\beta_{ch4,pt}$					0.522	7.38	0.411	3.61
K parameters	15		15		12		12	
N observations	2927		1568		2927		1568	
Init log-likelihood	-3215.638		-1722.624		-3215.638		-1722.624	
Final log-likelihood	-2265.874		-1191.014		-2270.445		-1191.082	
Adjusted rho-square	0.291		0.3		0.29		0.302	
Likelihood ratio test:					MNL10-chG/ MNL10-chS		MNL10-chG/ MNL10-chS	
-2 (LL(β_r)-LL(β))					9.142		0.136	
d.f.					3		3	
LRT l.v. (95%)					7.81473		7.81473	
LR (MNLG-MNLS)					97.25%		1.28%	

Tabla 5.54. Modelos MNL10-ch (elección de modo de transporte PR) para Francia y ciudades francesas excepto Lille:

Exp. 2 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Los efectos de la elección de modo PR en la elección de autobús y modo ferroviario en el ejercicio PD son diferentes en función de la categoría considerada, y se analizan a través de los valores normalizados de los coeficientes en los modelos MNL10-chS. Estos ratios se obtienen dividiendo los coeficientes entre el valor absoluto del coeficiente correspondiente al coste para el transporte público ($\beta_{c,pt}$). Las mayores diferencias se dan en los coeficientes pertenecientes a la alternativa ferroviaria PD ($\beta_{ch3,3}$ y $\beta_{ch4,3}$), mientras que para la alternativa autobús PD se obtienen valores de estos coeficientes similares entre sí para ambos modelos ($\beta_{ch3,2}$ y $\beta_{ch4,2}$), como puede verse en la última columna de la tabla siguiente. Además, se observa que en el caso de las ciudades francesas excepto Lille (*Non-Lille*), el parámetro asociado al modo ferroviario PR ($\beta_{ch4,3}$) favorece la elección de este mismo modo en el ejercicio PD en menor medida que en el modelo estimado para todas las ciudades francesas (*France*). Por el contrario, el parámetro asociado al modo autobús PR ($\beta_{ch3,3}$) favorece la elección de modo ferroviario PD en mayor medida si no se considera Lille en la BBDD. Esto es otro indicador de la diferencia de percepción del modo ferroviario y de la red de transporte público que tienen los usuarios del mismo en la ciudad de Lille.

Model	MNL10-chS France	MNL10-chS Non-Lille	MNL10-chS France - Non- Lille
Coefficient	Value	Value	Value
ASC1 / abs($\beta_{c,pt}$)	0	0	0
ASC2 / abs($\beta_{c,pt}$)	1.280	1.327	-0.047
ASC3 / abs($\beta_{c,pt}$)	1.234	1.327	-0.093
$\beta_{t,1}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.091	-0.095	0.004
$\beta_{t,pt}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.130	-0.139	0.010
$\beta_{c,1}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.548	-0.518	-0.029
$\beta_{c,pt}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	-1	-1	0
β_f / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.061	-0.051	-0.009
* β_{nt0} / abs($\beta_{c,pt}$)	0.457	0.545	-0.088
β_{nt1} / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.036	-0.102	0.066
β_{nt2} / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.421	-0.443	0.022
* $\beta_{ch1,2}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	0.310	0.345	-0.035
$\beta_{ch2,2}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.963	-1.038	0.076
$\beta_{ch3,2}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	0.285	0.319	-0.034
$\beta_{ch4,2}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	0.367	0.374	-0.007
* $\beta_{ch1,3}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	0.377	0.340	0.037
$\beta_{ch2,3}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.963	-1.019	0.057
$\beta_{ch3,3}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.035	0.261	-0.296
$\beta_{ch4,3}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	0.621	0.418	0.202

Tabla 5.55. Valores normalizados de los parámetros en modelos MNL10-chS (elección de modo de transporte PR) para Francia y ciudades francesas excepto Lille: Exp. 2 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

El último indicador de las diferencias en la percepción del modo ferroviario en Lille respecto al resto de ciudades francesas puede observarse en los valores de los test de razón de verosimilitud (LR) de la tabla 5.54.: mientras que si no se tiene en cuenta la ciudad de Lille el modelo con parámetros de elección PR específicos (MNL10-chS) no mejora la capacidad explicativa sobre el fenómeno respecto al modelo con parámetros genéricos (MNL10-chG), si se incluye a los individuos de Lille estas mejoras sí serían significativas. Por lo tanto, cuando se estiman modelos en los que se tiene en cuenta la ciudad de Lille en la BBDD se aprecia que los efectos de la elección de modo elegido en el desplazamiento PR son distintos en función de la alternativa PD considerada, mientras que esto no sucede para la BBDD denominada *Non-Lille*.

Para finalizar se destaca que de nuevo los valores de los ratios relativos a las variables de nivel de servicio continuas (el tiempo y el intervalo entre vehículos) son prácticamente idénticos, por lo que las disponibilidades a pagar por ahorros de tiempo son muy similares. Las principales diferencias se dan otra vez en el efecto asociado a las ASC y en la variación de los atributos en categorías, manteniéndose el carácter lineal en los ratios de las categorías del atributo número de transbordos.

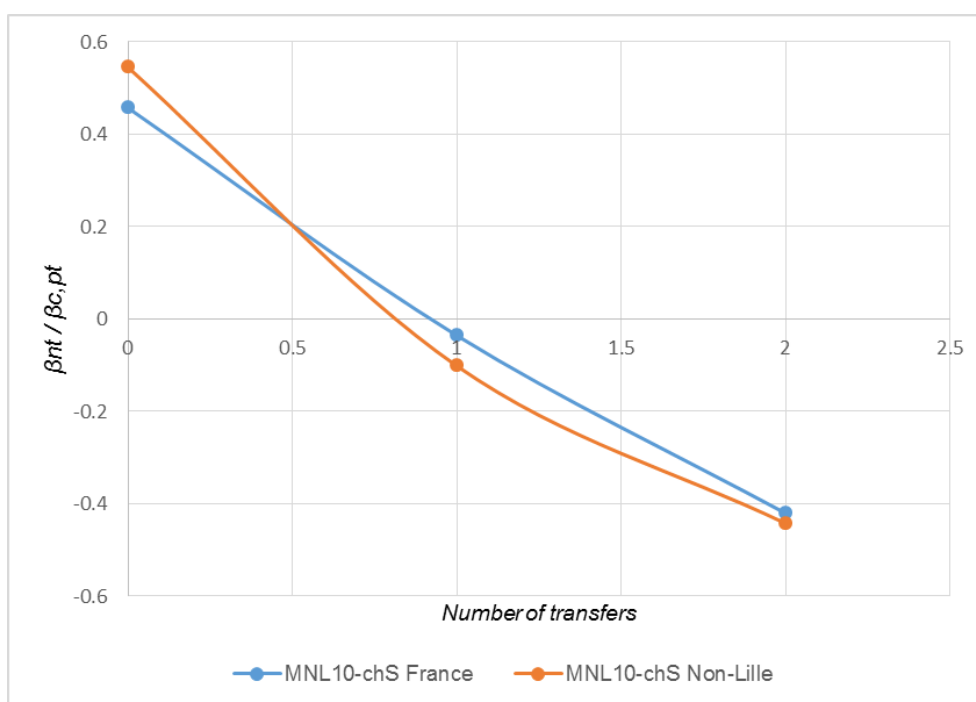


Fig. 5.5. Variación del ratio normalizado $\beta_{nt} / \beta_{c,pt}$ en modelos MNL10-chS (elección de modo de transporte PR) para Francia y ciudades francesas excepto Lille: Exp. 2 / Esc. B

5.5.2.3. El VAL como categoría independiente de modo PR elegido

En este caso se tienen en cuenta únicamente las observaciones recopiladas en la ciudad de Lille, con las que se realizan nuevos modelos en los que se introduce una nueva categoría para el atributo modo de transporte PR elegido. De esta forma se consideran 5 categorías en lugar de 4, dividiéndose la cuarta categoría considerada en los modelos iniciales (transporte público ferroviario PR) en 2 nuevas categorías: elección de LRT (categoría 4, $\beta_{ch4,i}$) y elección de VAL (categoría 5, $\beta_{ch5,i}$) en el desplazamiento PR. Por lo tanto, debe estimarse 1 parámetro adicional por alternativa ($\beta_{ch5,i}$), correspondiente a la elección PR de VAL.

Escenario A

Los resultados obtenidos para los modelos MNL y ML son muy similares, por lo que las conclusiones que pueden extraerse de los mismos son idénticas. Los valores de los coeficientes permanecen prácticamente inalterados, si comparamos los modelos que consideran 4 y 5 categorías para el modo de transporte PR.

Model	MNL10-ch		MNL10(VAL)-ch	
	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient				
ASC2	0	-	0	-
ASC3	-0.264	-2.75	-0.172	-2.06
$\beta_{t,pt}$	-0.162	-15.9	-0.162	-15.9
$\beta_{c,pt}$	-1.76	-7.37	-1.76	-7.37
β_f	-0.0788	-6.73	-0.0788	-6.73
* β_{nt0}	0.341	-	0.342	-
β_{nt1}	0.113	1.72	0.112	1.71
β_{nt2}	-0.454	-6.81	-0.454	-6.81
* $\beta_{ch1,3}$	-0.128	-	-0.221	-
$\beta_{ch2,3}$	0.374	2.58	0.282	1.94
$\beta_{ch3,3}$	-0.711	-3.39	-0.803	-3.64
$\beta_{ch4,3}$	0.465	3.99	0.348	2.62
$\beta_{ch5,3}$			0.394	3.08
K parameters	9		10	
N observations	1334		1334	
Init log-likelihood	-924.658		-924.658	
Final log-likelihood	-613.375		-613.343	
Adjusted rho-square	0.327		0.326	
Likelihood ratio test:	MNL10/ MNL10-ch		MNL10/ MNL10(VAL)-ch	
-2 (LL(β_r)-LL(β))	23.122		23.186	
d.f.	3		4	
LRT l.v. (95%)	7.81473		9.48773	
LR (MNL10-MNLI)	100.00%		99.99%	

Tabla 5.56. Modelos MNL10-ch (elección de modo de transporte PR) con 4 y 5 categorías para Lille: Exp. 2 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Aunque a priori las mayores diferencias parecen darse en los valores de las ASC y en los valores de los parámetros correspondientes al atributo elección de modo PR (principalmente en el $\beta_{ch4,3}$), si se consideran los efectos conjuntos de las ASC y de estos parámetros sobre la utilidad de la alternativa ferroviaria PD se aprecia que los valores obtenidos en los 2 modelos son prácticamente iguales, tal y como puede verse en la tabla siguiente.

	MNL10-ch	MNL10 (VAL)-ch
ASC3	-0.264	-0.172
* $\beta_{ch1,3}$	-0.128	-0.221
$\beta_{ch2,3}$	0.374	0.282
$\beta_{ch3,3}$	-0.711	-0.803
$\beta_{ch4,3}$	0.465	0.348
$\beta_{ch5,3}$	-	0.394
ASC3+* $\beta_{ch1,3}$	-0.392	-0.393
ASC3+ $\beta_{ch2,3}$	0.11	0.11
ASC3+ $\beta_{ch3,3}$	-0.975	-0.975
ASC3+ $\beta_{ch4,3}$	0.201	0.176
ASC3+ $\beta_{ch5,3}$	-	0.222

Tabla 5.57. Efecto conjunto de ASC y coeficientes de elección de modo PR sobre la utilidad de la alternativa ferroviaria PD con 4 y 5 categorías para Lille: Exp. 2 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Para el modelo denominado como VAL se observa una disminución en el efecto conjunto de la ASC y la elección de modo ferroviario PR ($ASC3+\beta_{ch4,3}$) respecto al modelo MNL10-ch. Además, este valor es menor al efecto conjunto de la ASC y la elección PR de VAL ($ASC3+\beta_{ch5,3}$) en el modelo MNL10(VAL)-ch, lo que puede implicar una preferencia mayor hacia el modo ferroviario PD por parte de los usuarios que eligen VAL para su desplazamiento PR, respecto a aquellos que eligen LRT para su viaje PR.

De forma general puede decirse que para el escenario A, y cuando los encuestados deben decidir entre autobús y modo ferroviario para realizar el desplazamiento PD hipotético, el haber elegido un modo ferroviario para el desplazamiento PR favorece la elección del modo ferroviario en el ejercicio PD. Además, los usuarios del VAL son más proclives a elegir la alternativa ferroviaria que los usuarios de LRT para su desplazamiento PD.

Escenario B

En este caso sucede algo muy similar que en el del escenario A en cuanto a los resultados obtenidos, es decir, estos siguen tendencias muy similares para los modelos MNL, NL y ML, permaneciendo los valores de los parámetros prácticamente inalterados para modelos con 4 y 5 categorías en la elección de modo de transporte PR (véase anexo A23).

Si se analizan las preferencias de los usuarios atendiendo a los valores de los coeficientes de este atributo, se observa que para los encuestados que realizaron su desplazamiento PR en modo no motorizado la utilidad de las alternativas de transporte público PD aumenta ($\beta_{ch1,i} > 0$). Sin embargo, para usuarios de transporte privado el coeficiente asociado a esta categoría es negativo, lo que implica una disminución de la utilidad de las alternativas de transporte público PD ($\beta_{ch2,i} < 0$). Del mismo modo, puede observarse que los usuarios PR de autobús ($\beta_{ch3,i}$) son más reacios a elegir modo ferroviario y más proclives a elegir autobús en el ejercicio PD, mientras que para usuarios de modo ferroviario PR ($\beta_{ch4,i}$), ya sea LRT o VAL, tanto la utilidad de autobús como la del modo ferroviario PD se ve beneficiada.

Cabe destacar que solamente algunos de los coeficientes asociados a la categoría “elección de autobús PR” no son significativos, en vista de los resultados de los test-t correspondientes. También puede apreciarse que los modelos en los que se consideran los coeficientes de la elección de modo PR como específicos para las alternativas de transporte público (MNL10-chS y MNL10(VAL)-chS) son superiores a los modelos con coeficientes genéricos (MNL10-chG y MNL10(VAL)-chG), en lo que a capacidad explicativa del fenómeno se refiere.

Model	MNL10-chS		MNL10(VAL)-chS		MNL10-chG		MNL10(VAL)-chG	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient								
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	1.4	3.25	1.47	3.45	1.25	2.92	1.37	3.2
ASC3	1.18	2.73	1.35	3.16	1.34	3.12	1.45	3.4
$\beta t,1$	-0.0991	-7.71	-0.0991	-7.7	-0.0981	-7.65	-0.0981	-7.66
$\beta t,pt$	-0.135	-16.7	-0.135	-16.7	-0.133	-16.6	-0.133	-16.6
$\beta c,1$	-0.649	-12.4	-0.649	-12.4	-0.642	-12.3	-0.642	-12.3
$\beta c,pt$	-1.13	-6.69	-1.13	-6.68	-1.12	-6.64	-1.12	-6.63
βf	-0.0762	-5.61	-0.0761	-5.6	-0.0762	-5.65	-0.0762	-5.65
* $\beta nt0$	0.4167	-	0.4171	-	0.4194	-	0.421	-
$\beta nt1$	0.0233	0.35	0.0239	0.36	0.0196	0.29	0.019	0.29
$\beta nt2$	-0.44	-6	-0.441	-6.01	-0.439	-6.02	-0.44	-6.02
* $\beta ch1,2$	0.376	-	0.299	-				
$\beta ch2,2$	-0.981	-6.25	-1.05	-6.59				
$\beta ch3,2$	0.242	1.2	0.169	0.8				
$\beta ch4,2$	0.363	2.98	0.321	2.21				
$\beta ch5,2$			0.261	1.9				
* $\beta ch1,3$	0.633	-	0.46	-				
$\beta ch2,3$	-0.928	-5.44	-1.1	-6.42				
$\beta ch3,3$	-0.561	-2.21	-0.733	-2.73				
$\beta ch4,3$	0.856	6.43	0.77	5.22				
$\beta ch5,3$			0.603	4.2				
* $\beta ch1,pt$					0.4751	-	0.354	-
$\beta ch2,pt$					-0.976	-7.54	-1.09	-8.34
$\beta ch3,pt$					-0.0801	-0.45	-0.198	-1.05
$\beta ch4,pt$					0.581	5.63	0.527	4.34
$\beta ch5,pt$							0.407	3.51
K parameters	15		17		12		13	
N observations	1359		1359		1359		1359	
Init log-likelihood	-1493.014		-1493.014		-1493.014		-1493.014	
Final log-likelihood	-1064.816		-1064.461		-1072.588		-1072.341	
Adjusted rho-square	0.277		0.276		0.274		0.273	
Likelihood ratio test:					MNL10-chG/MNL10-chS		MNL10(VAL)-chG/MNL10(VAL)-chS	
-2 (LL(β_r)-LL(β))					15.544		15.76	
d.f.					3		4	
LRT l.v. (95%)					7.81473		9.48773	
LR (MNLG-MNLS)					99.86%		99.66%	

Tabla 5.58. Modelos MNL10-chS y MNL10-chG (elección de modo de transporte PR) con 4 y 5 categorías para Lille:

Exp. 2 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

De nuevo se analiza la aportación conjunta de la ASC y de los coeficientes de la elección de modo PR a las utilidades de las alternativas, con el objetivo de comparar los efectos derivados de considerar 2 categorías independientes para el LRT y para el VAL. En este caso se analizan solamente los modelos con coeficientes específicos, puesto que como ya se ha mencionado son superiores a los modelos con coeficientes genéricos correspondientes.

	MNL10-chS	MNL10 (VAL)-chS
ASC2	1.4	1.47
ASC3	1.18	1.35
* $\beta_{ch1,2}$	0.376	0.299
$\beta_{ch2,2}$	-0.981	-1.05
$\beta_{ch3,2}$	0.242	0.169
$\beta_{ch4,2}$	0.363	0.321
$\beta_{ch5,2}$	-	0.261
* $\beta_{ch1,3}$	0.633	0.46
$\beta_{ch2,3}$	-0.928	-1.1
$\beta_{ch3,3}$	-0.561	-0.733
$\beta_{ch4,3}$	0.856	0.77
$\beta_{ch5,3}$	-	0.603
ASC2+* $\beta_{ch1,2}$	1.776	1.769
ASC2+ $\beta_{ch2,2}$	0.419	0.42
ASC2+ $\beta_{ch3,2}$	1.642	1.639
ASC2+ $\beta_{ch4,2}$	1.763	1.791
ASC2+ $\beta_{ch5,2}$	-	1.731
ASC3+* $\beta_{ch1,3}$	1.813	1.81
ASC3+ $\beta_{ch2,3}$	0.252	0.25
ASC3+ $\beta_{ch3,3}$	0.619	0.617
ASC3+ $\beta_{ch4,3}$	2.036	2.12
ASC3+ $\beta_{ch5,3}$	-	1.953

Tabla 5.59. Efecto conjunto de ASC y coeficientes de elección de modo PR sobre la utilidad de la alternativa ferroviaria PD con 4 y 5 categorías para Lille: Exp. 2 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Dados los resultados obtenidos puede afirmarse que las aportaciones conjuntas de ASC y coeficientes de elección PR para las 4 primeras categorías, apenas presentan diferencias en ambos modelos. Sin embargo, para el escenario B las tendencias seguidas por los valores de $ASC3+\beta_{ch4}$ y $ASC3+\beta_{ch5}$ son contrarias a las vistas en el escenario A.

- Para el modelo MNL10(VAL)-chS se observa un aumento en el efecto conjunto de la ASC y la elección de modo ferroviario PR ($ASC3+\beta_{ch4,i}$) respecto al modelo MNL10-ch.
- El valor anterior es mayor al efecto conjunto de la ASC y la elección PR de VAL ($ASC3+\beta_{ch5,i}$) en el modelo MNL10(VAL)-chS, lo que puede implicar una preferencia mayor hacia el modo ferroviario PD por parte de los usuarios que eligen LRT para su desplazamiento PR respecto a aquellos que eligen VAL.,

Estas diferencias observadas en el comportamiento cuando se tiene en cuenta la alternativa coche como disponible pueden deberse a las características de los desplazamientos PR que realizan los usuarios del VAL, es decir, mayores tiempos de

viaje, rutas en corredores de acceso/salida, mayores distancias recorridas, etc. Puede suceder que ante la posibilidad de elegir coche para sus desplazamientos, los usuarios de VAL lo consideren como un modo que se adecua más a sus necesidades que el modo ferroviario PD, puesto que se trata de un SCI con el cual no están familiarizados y que puede no ser considerado por ellos como adecuado para los desplazamientos que realizan.

5.5.3. Influencia del contexto de estudio: Nantes frente a Vitoria-Gasteiz

5.5.3.1. Introducción

Otro de los aspectos que merece la pena ser estudiado es la influencia del contexto social, cultural, económico, etc., en la existencia del *rail factor*. Para ello se ha optado por realizar una comparación entre los resultados obtenidos en las estimaciones pertenecientes a 2 ciudades, las cuales se encuentran en distintos países europeos, y en las que por tanto las diferencias sociales y económicas son palpables.

La ciudad de Nantes ha sido elegida como el caso de estudio más destacado de la investigación desde su comienzo, por lo que es la seleccionada como ciudad francesa de referencia para la comparación, mientras que en representación de España se ha seleccionado la ciudad de Vitoria-Gasteiz. Cabe destacar que esta comparación ha sido planificada inicialmente, ya que puede afirmarse que ambas ciudades son ejemplos europeos de implantaciones exitosas de sistemas de transporte público. Además, se trata de 2 ciudades de tamaño intermedio que han abordado la movilidad de sus ciudadanos de forma integral, hecho que ha dado lugar a su nombramiento como *Europea Green Capital* en años consecutivos (2012 Vitoria-Gasteiz y 2013 Nantes). Pueden verse las características principales de estas ciudades en los apartados correspondientes del capítulo 4.

En esta comparación se ha seguido el mismo procedimiento que en el apartado 5.4.2, es decir, se han analizado en primer lugar las observaciones del escenario A, teniendo en cuenta por separado los experimentos 2 y 1, para posteriormente introducir los modelos estimados para el escenario B (es decir, introduciendo el coche como disponible). Adicionalmente se obtienen los valores del SVT (*Subjective Value of Time*), como medida del índice marginal de sustitución entre tiempos percibidos y

costes de viaje a utilidad constante. Este índice se calcula a partir de la siguiente expresión (Ortúzar y Willumsen, 2011, p. 512).

$$SVT = \frac{\partial V_i / \partial t_i}{\partial V_i / \partial c_i} \quad (5.43)$$

De modo que cuando la utilidad representativa tiene la típica forma lineal en sus parámetros, la expresión del SVT es igual al ratio entre los parámetros estimados para el tiempo y el coste. Esta estimación de la disponibilidad de pago por ahorros en el tiempo de viaje se realiza para comprobar que los modelos ofrecen valores razonables de este indicador. Espino et al. (2006) obtienen valores muy diferentes para el SVT en función del sexo y de la situación laboral, destacando que mientras que generalmente los hombres están dispuestos a pagar casi el doble por ahorros de tiempo de viaje respecto a las mujeres, los no trabajadores pagarían del orden de hasta casi 10 veces menos que los trabajadores por estos ahorros. El SVT para el coche obtenido varía entre 2.5 y 33 €/h para el coche, y entre 2 y 18 €/h para diferentes tipos de autobús. Los valores medios aproximados teniendo en cuenta sexo y situación laboral de forma conjunta serían de unos 14-15 €/h para el coche y 9-10 €/h para el autobús.

Los valores del SVT para los modelos tipo ML10-tpt(RC) y ML13-t1,pt(RC) se calculan a partir de los valores medios de los parámetros del tiempo, distribuyéndose por tanto el SVT de la población igual que se distribuye el coeficiente del tiempo correspondiente, al no ser aleatorio el coeficiente del coste en estas especificaciones. También merece la pena señalar que para el caso del coche la disponibilidad de pago por ahorro de tiempo se calcula con el pago por aparcamiento en destino (β_c, I).

Posteriormente también se realiza un análisis de la capacidad explicativa sobre el fenómeno que tienen las variables de la sección PR de la encuesta (elección de modo para el desplazamiento PR y experiencia previa con la red de transporte público PR existente).

Finalmente, se comparan los modelos más representativos de cada localización mediante el test de hipótesis no jerarquizadas (comparación directa de modelos que no presentan una relación de inclusión). Este procedimiento se realiza como paso previo a realizar simulaciones que permitan estudiar la potencial captación de viajeros en caso de implantar uno u otro sistema de capacidad intermedia, partiendo de un escenario de referencia en el que existe un autobús convencional (véase capítulo 6).

5.3.3.2. Experimento 2 / Escenario A

En líneas generales no se observan grandes diferencias en las tendencias seguidas por los distintos modelos para las 2 localizaciones. En cuanto a la ASC de la alternativa ferroviaria (*ASC3*), solamente muestra un valor significativamente distinto de cero para el MNL de Vitoria-Gasteiz. Tanto en este caso como en el resto, el valor de la misma es negativo, lo que podría significar una preferencia hacia el autobús por parte de los usuarios. Sin embargo, dado que en la mayor parte de los casos la ASC no es significativa no puede asegurarse de forma general la existencia de esta preferencia. En los modelos ML10-tpt(RC) se observa que las desviaciones asociadas al parámetro del tiempo (σ_{tpt}) son diferentes de cero en ambos casos, siendo además estos modelos superiores a los MNL correspondientes dados los resultados de los test de razón de verosimilitud (LR).

Model	MNL10 Nantes		MNL10 Vitoria-Gasteiz		ML10-tpt(RC) Nantes		ML10-tpt(RC) Vitoria-Gasteiz	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient								
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	-0.105	-0.84	-0.179	-2.22	-0.0157	-0.11	-0.154	-1.77
$\beta_{t,pt}$	-0.177	-10.3	-0.0899	-9.93	-0.239	-7.02	-0.108	-7.51
$\beta_{c,pt}$	-1.72	-4.34	-1.44	-5.45	-2.07	-4.68	-1.56	-5.59
β_f	-0.109	-4.7	-0.0196	-1.6	-0.132	-4.75	-0.0234	-1.79
* β_{nt0}	0.481	-	0.3666	-	0.589	-	0.4052	-
β_{nt1}	0.191	1.62	0.0794	1.19	0.236	1.67	0.0828	1.17
β_{nt2}	-0.672	-5.88	-0.446	-6.32	-0.825	-5.81	-0.488	-6.51
σ_{tpt}					0.13	4.16	0.081	4.67
Halton draws	-		-		1000		1000	
K parameters	6		6		7		7	
N observations	530		831		530		831	
Init log-likelihood	-367.368		-576.005		-315.495		-635.227	
Final log-likelihood	-211.866		-463.555		-204.044		-456.448	
Adjusted rho-square	0.407		0.185		0.426		0.195	
Likelihood ratio test					MNL10/ML10- tpt(RC)		MNL10/ML10- tpt(RC)	
-2 (LL(β_r)-LL(β))					15.644		14.214	
d.f.					1		1	
LRT l.v. (95%)					3.8415		3.8415	
LR (MNL10-ML10-tpt(RC))					100%		100%	

Tabla 5.60. Modelos MNL10 y ML10 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Las mayores diferencias entre valores de los coeficientes correspondientes a los modelos de localizaciones distintas se dan en la categoría “2 transbordos”, además de en las ASC. Esto puede verse en las últimas columnas de la siguiente tabla, en la que

se muestran las diferencias entre las 2 ciudades de los valores normalizados de los parámetros respecto al parámetro del coste ($\beta_{c,pt}$).

Model	MNL10 Nantes	MNL10 Vitoria-Gasteiz	ML10(EC) Nantes	ML10-tpt(RC) Vitoria-Gasteiz	MNL10 Nantes - Vitoria-Gasteiz	ML10-tpt(RC) Nantes - Vitoria-Gasteiz
Ratio	Value	Value	Value	Value	Difference	Difference
ASC2 / abs($\beta_{c,pt}$)	0	0	0	0	0	0
ASC3 / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.061	-0.124	-0.061	-0.099	0.063	0.091
$\beta_{t,pt}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.103	-0.062	-0.103	-0.069	-0.040	-0.046
$\beta_{c,pt}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	-1	-1	-1	-1	0	0
β_f / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.063	-0.014	-0.063	-0.015	-0.050	-0.049
* β_{nt0} / abs($\beta_{c,pt}$)	0.280	0.255	0.280	0.260	0.025	0.025
β_{nt1} / abs($\beta_{c,pt}$)	0.111	0.055	0.111	0.053	0.056	0.061
β_{nt2} / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.391	-0.310	-0.391	-0.313	-0.081	-0.086

Tabla 5.61. Valores normalizados de los parámetros en modelos MNL10 y ML10 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

En cuanto a la probabilidad de elección de las alternativas de transporte público en igualdad de condiciones, en ambos casos se aprecia una leve preferencia hacia el autobús, que es más marcada en la ciudad Vitoria-Gasteiz.

	MNL10 Nantes	MNL10 Vitoria-Gasteiz
ASC ₃	-0.105	-0.179
P _{bus-based}	52.62%	54.46%
P _{rail-based}	47.38%	45.54%

Tabla 5.62. Probabilidad de elección de las alternativas de transporte público en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. A

Se obtienen valores subjetivos del tiempo (SVT) de entre 3.5 y 7 €/h para las alternativas de transporte público, es decir, en el rango de lo teóricamente esperable. En la ciudad de Nantes los SVT son del orden de casi el doble que en Vitoria-Gasteiz, siendo esta diferencia más marcada en los modelos ML10-tpt(RC) que en los MNL10.

Model	MNL10 Nantes	MNL10 Vitoria-Gasteiz	ML10-tpt(RC) Nantes	ML10-tpt(RC) Nantes
SVT(€/h)	Value	Value	Value	Value
Transit	6.174	3.746	6.928	4.154

Tabla 5.63. Valores de SVT para los modelos MNL10 y ML10 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. A

5.3.3.3. Experimento 1 / Escenario A

Cuando se incluye el atributo tipo de transporte público en la especificación de la utilidad de las alternativas se observan una serie de cambios en los resultados obtenidos. En primer lugar los valores de las ASC para los modelos de Nantes cambian de signo, aunque siguen siendo no significativos por lo que de nuevo no puede asegurarse que exista una preferencia hacia uno u otro modo. En segundo lugar, para los modelos de Vitoria-Gasteiz se sigue la misma tendencia que en el caso anterior ($ASC < 0$), sin embargo los test-t asociados aumentan su valor, lo que implica que tanto para el modelo MNL como para el ML(RC) la ASC del modo ferroviario es ahora significativamente distinta de cero. Además, de nuevo los valores de la variación aleatoria asociada al tiempo de viaje en transporte público (σ_{tpt}) son significativos en ambas localizaciones, siendo los modelos ML13-tpt(RC) superiores a los MNL13 correspondientes.

Model	MNL13 Nantes		MNL13 Vitoria-Gasteiz		ML13-tpt(RC) Nantes		ML13-tpt(RC) Vitoria-Gasteiz	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient								
ASC2	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC3	0.0717	0.77	-0.193	-2.41	0.0834	0.85	-0.191	-2.17
$\beta_{t,pt}$	-0.119	-10.9	-0.0918	-10.1	-0.132	-8.57	-0.11	-7.41
$\beta_{c,pt}$	-0.962	-3.11	-1.34	-4.87	-1.03	-3.25	-1.44	-4.96
β_f	-0.0344	-2.33	-0.0358	-2.86	-0.0381	-2.45	-0.0422	-3.12
* β_{nt0}	0.427	-	0.5064	-	0.4434	-	0.5343	-
β_{nt1}	-0.101	-1.23	-0.0274	-0.4	-0.0964	-1.12	-0.0243	-0.33
β_{nt2}	-0.326	-3.93	-0.479	-6.67	-0.347	-3.99	-0.51	-6.62
* $\beta_{ptA,pt}$	0.629	6.25	0.352	4.22	0.642	6.14	0.37	4.18
$\beta_{ptB,pt}$	-0.103	-1.05	-0.0116	-0.14	-0.112	-1.08	-0.0319	-0.33
$\beta_{ptC,pt}$	-0.526	-	-0.3404	-	-0.53	-	-0.3381	-
σ_{tpt}					0.0664	3.3	0.0913	5.18
Halton draws	-	-	-	-	1000		1000	
K parameters	8		8		9		9	
N observations	684		865		684		865	
n individuals	684		865		78		100	
lnit log-likelihood	-474.113		-599.572		-488.583		-647.227	
Final log-likelihood	-359.173		-472.228		-356.401		-462.27	
Adjusted rho-square	0.226		0.199		0.229		0.214	
Likelihood ratio test					MNL13/ML13- tpt(RC)		MNL13/ML13- tpt(RC)	
-2 (LL(β_r)-LL(β))					5.544		19.916	
d.f.					1		1	
LRT l.v. (95%)					3.8415		3.8415	
LR (MNL13-ML13-tpt(RC))					98%		100%	

Tabla 5.64. Modelos MNL13 y ML13 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Las mayores diferencias observadas en los valores de los parámetros entre modelos de las 2 ciudades se dan en los valores de las ASC y en los de los coeficientes de la “categoría A” para el atributo tipo de transporte público ($\beta_{ptA,pt}$).

Model	MNL13 Nantes	MNL13 Vitoria-Gasteiz	ML13(EC) Nantes	ML13-tpt(RC) Vitoria-Gasteiz	MNL13 Nantes - Vitoria-Gasteiz	ML13-tpt(RC) Nantes - Vitoria-Gasteiz
Ratio	Value	Value	Value	Value	Difference	Difference
ASC2 / abs($\beta_{c,pt}$)	0	0	0	0	0	0
ASC3 / abs($\beta_{c,pt}$)	0.075	-0.144	0.061	-0.133	0.219	0.214
$\beta_{t,pt}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.124	-0.069	-0.126	-0.076	-0.055	-0.052
$\beta_{c,pt}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	-1	-1	-1	-1	0	0
β_f / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.036	-0.027	-0.034	-0.029	-0.009	-0.008
* β_{nt0} / abs($\beta_{c,pt}$)	0.444	0.378	0.435	0.371	0.066	0.059
β_{nt1} / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.105	-0.020	-0.088	-0.017	-0.085	-0.077
β_{nt2} / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.339	-0.357	-0.348	-0.354	0.019	0.017
$\beta_{ptA,pt}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	0.654	0.263	0.675	0.257	0.391	0.366
$\beta_{ptB,pt}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.107	-0.009	-0.127	-0.022	-0.098	-0.087
* $\beta_{ptC,pt}$ / abs($\beta_{c,pt}$)	-0.547	-0.254	-0.548	-0.235	-0.293	-0.280

Tabla 5.65. Valores normalizados de los parámetros en modelos MNL13 y ML13 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. A

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Para esta último atributo se obtienen valores teóricamente esperables, siendo los coeficientes de la “categoría A” significativamente distintos de cero y con signo positivo en todos los modelos de ambas localizaciones.

La mayor diferencia entre los modelos los modelos estimados para las 2 ciudades tiene que ver con la influencia del atributo tipo de transporte público. Del análisis de los modelos denominados por PARES en los que se introducen los coeficientes del atributo tipo de transporte público como específicos (MNL13-ptA y MNL13 ptB) se desprende que los coeficientes de la “categoría A” solamente son candidatos a ser específicos en la ciudad de Nantes (véanse anexos A16 y A21). Este hecho podría indicar que cuando un transporte público tiene las prestaciones de la “categoría A” en la ciudad de Nantes, la influencia de esta categoría en la elección es diferente en función de la alternativa considerada. Esto no sucede así para la ciudad de Vitoria-Gasteiz.

Model	Location	Coefficient 1	Coefficient 2	Covariance	t-test	Significance
MNL13	Vitoria-Gasteiz	$\beta_{ptA,2}$	$\beta_{ptA,3}$	2.53E-03	0.52	39.69%
	Nantes			4.51E-03	2.06	96.06%

Tabla 5.66. Test-t de igualdad de parámetros para la categoría A del atributo tipo de transporte público en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. A

En lo referente a la “categoría B” del tipo de transporte público, con la especificación de sus parámetros como específicos (modelo MNL13-ptB) no se obtienen mejoras significativas respecto a la especificación como genéricos (modelo MNL13). Esto sucede en las 2 ciudades estudiadas.

Model	Location	Coefficient 1	Coefficient 2	Covariance	t-test	Significance
MNL13	Vitoria-Gasteiz	$\beta_{ptB,2}$	$\beta_{ptB,3}$	2.97E-03	0.06	4.78%
	Nantes			3.93E-03	-0.45	34.73%

Tabla 5.67. Test-t de igualdad de parámetros para la categoría B del atributo tipo de transporte público en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. A

Merece la pena recordar que aunque los valores de los coeficientes de la “categoría B” no sean significativos aun siendo considerados como genéricos, no puede asegurarse que esta no ejerza ningún efecto sobre la elección. Esto se debe al tipo de codificación elegida (*effects*), tal y como se vió en apartados previos. Este efecto también puede apreciarse en la siguientes figuras, donde en primer lugar se representan los valores de los coeficientes asociados a las categorías A, B y C del tipo de transporte publico (se representan en el eje x como 1, 2 y 3, respectivamente). Puede verse un efecto de este atributo marcadamente lineal, más evidente incluso en el caso de Vitoria-Gasteiz.

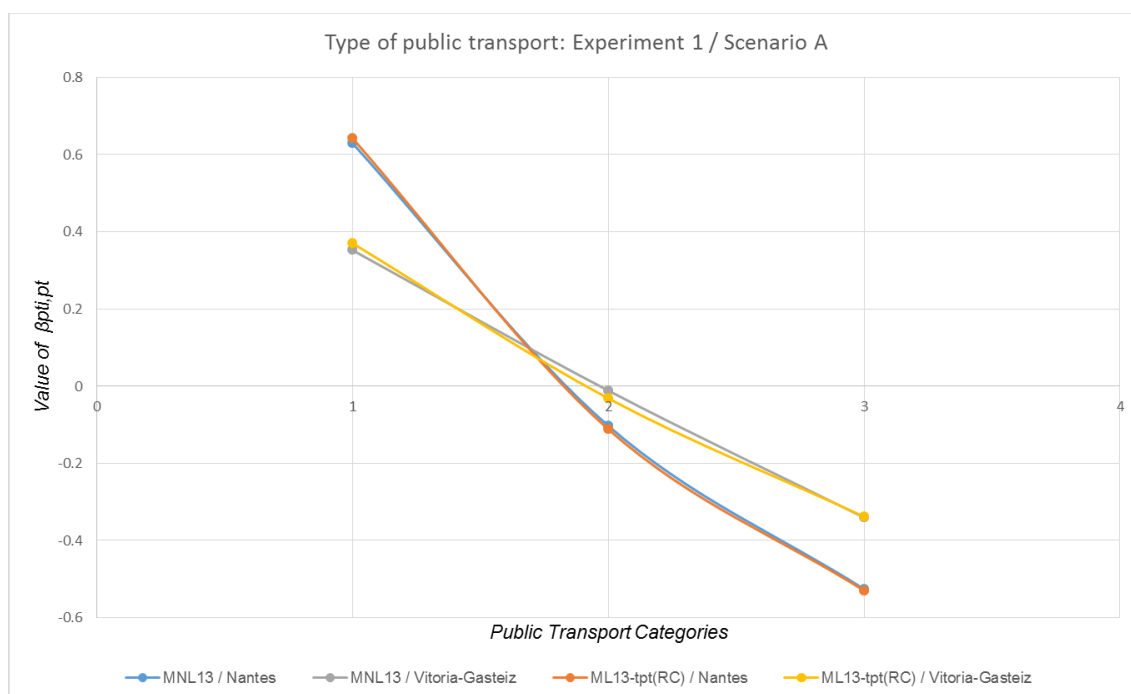


Fig. 5.6. Variación de los coeficientes del tipo de transporte público en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. A

En segundo lugar se muestra el efecto conjunto sobre la utilidad sistemática de la alternativa ferroviaria de los anteriores coeficientes y de la constante específica correspondiente (ASC_3). Puede apreciarse que al contrario de lo que sucedía anteriormente, el efecto de la categoría intermedia más la ASC en Vitoria-Gasteiz es mayor (en valor absoluto) de los que es en Nantes.

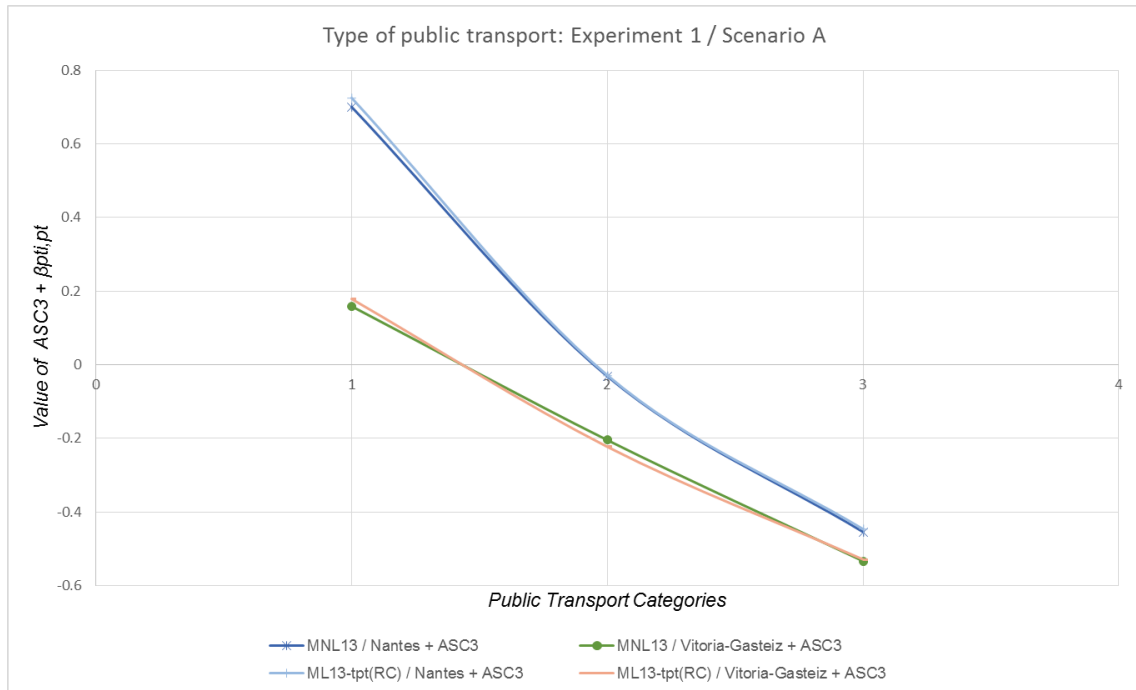


Fig. 5.7. Efecto conjunto de los coeficientes del tipo de transporte público y la ASC en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. A

En cuanto a la probabilidad de elección en igualdad de condiciones, mientras que en Vitoria-Gasteiz su valor apenas experimenta cambios con la introducción del nuevo atributo, en el caso de Nantes se aprecia que la alternativa preferida pasa a ser el modo ferroviario, aunque como ya se ha dicho esta diferencia es apenas perceptible y no es significativa estadísticamente hablando.

	MNL13 Nantes	MNL13 Vitoria-Gasteiz
ASC_3	0.0717	-0.1930
$P_{bus-based}$	48.21%	54.81%
$P_{rail-based}$	51.79%	45.19%

Tabla 5.68. Probabilidad de elección de las alternativas de transporte público en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. A

Por último, los valores subjetivos del tiempo (SVT) obtenidos son de nuevo razonables. Además, en la ciudad de Nantes estos valores vuelven a ser del orden de casi el doble que en Vitoria-Gasteiz, pero en este caso la diferencia entre los modelos es mayor en los modelos MNL que en los ML.

Model	MNL13 Nantes	MNL13 Vitoria-Gasteiz	ML13-tpt(RC) Nantes	ML13-tpt(RC) Nantes
SVT(€/h)	Value	Value	Value	Value
Transit	7.422	4.110	7.689	4.583

Tabla 5.69. Valores de SVT para los modelos MNL13 y ML13 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz:

Exp. 2 / Esc. A

5.3.3.4. Experimento 2 / Escenario B

Al introducir el coche como alternativa disponible se estiman 3 nuevas tipologías de modelos, además de realizar un análisis de los modelos análogos a los anteriores. En primer lugar modelos NL en los que se permite la correlación entre las alternativas del transporte público; en segundo lugar modelos ML(EC) en los que además de la correlación entre estas alternativas se modeliza la correlación entre observaciones pertenecientes a un mismo individuo; y por último, modelos ML-ASC(RC) en los que estima la heterogeneidad asociada a las constantes específicas de las alternativas.

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para los modelos MNL y NL de referencia. Puede apreciarse que el parámetro de nido (λ_{nestpt}), y por lo tanto la correlación entre alternativas de transporte público, es significativa solamente en el caso de Nantes. Por lo tanto el modelo NL10 es superior al MNL10 correspondiente para esta localización. Los valores de las ASC solamente son significativamente distintos de cero para el modelo MNL10 en Nantes, sin embargo esto no quiere decir que existan diferencias entre la ASC2 y la ASC3 en este caso. De hecho, solamente en los modelos pertenecientes a la ciudad de Vitoria-Gasteiz estas ASC son candidatas a ser tratadas como diferentes entre sí, dados los resultados del test de igualdad de parámetros (*Correlation ASC2-ASC3*). En todos los modelos la diferencia en los valores de las ASC podría indicar que en caso de que exista una preferencia debida a los factores no observados hacia alguna de las alternativas de transporte público, esta sería hacia el sistema basado en el autobús.

Model	MNL10 Nantes		MNL10 Vitoria-Gasteiz		NL10 Nantes		NL10 Vitoria-Gasteiz	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient								
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	1.8	2.26	0.457	1.07	0.432	0.47	0.313	0.65
ASC3	1.71	2.19	0.0543	0.13	0.363	0.4	-0.0492	-0.11
$\beta t,1$	-0.128	-5.36	-0.0507	-3.74	-0.135	-5.78	-0.0507	-3.77
$\beta t,pt$	-0.168	-12.1	-0.0855	-9.4	-0.121	-5.34	-0.0783	-5.29
$\beta c,1$	-0.725	-7.52	-0.578	-7.72	-0.694	-7.5	-0.571	-7.57
$\beta c,pt$	-0.891	-3.22	-0.748	-3.97	-0.625	-2.55	-0.719	-3.81
βf	-0.0768	-3.16	-0.0404	-2.44	-0.0548	-3.01	-0.0361	-2.21
* $\beta nt0$	0.5235	-	0.4106	-	0.3231	-	0.3637	-
$\beta nt1$	-0.0395	-0.33	-0.0686	-0.87	0.0349	0.41	-0.0547	-0.73
$\beta nt2$	-0.484	-4.04	-0.342	-3.99	-0.358	-3.66	-0.309	-3.27
$\lambda nest1$					1	-	1	-
** $\lambda nestpt$					1.69	1.79	1.14	0.56
Correlation (ASC2-ASC3)	0.983	0.59	0.968	3.76	0.994	0.71	0.971	3.12
K parameters	9		9		10		10	
N observations	522		919		522		919	
Init log-likelihood	-573.476		-1009.625		-573.382		-1008.239	
Final log-likelihood	-372.777		-806.343		-369.68		-806.16	
Adjusted rho-square	0.334		0.192		0.338		0.192	

Tabla 5.70. Modelos MNL10 y NL10 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

** El test-t realizado para el parámetro de nido $\lambda nestpt$ se calcula respecto a 1 siendo además un test de una cola

Respecto a los modelos ML, puede apreciarse que todas las variaciones aleatorias son significativamente diferentes de cero excepto la asociada a la ASC de la alternativa ferroviaria en Nantes (σ_{ASC3}). Los modelos ML son claramente superiores a sus antecesores, por lo que en primer lugar parece adecuado considerar además de la correlación entre alternativas de transporte público (σ_{pt}), la correlación entre observaciones PD pertenecientes al mismo individuo (tratamiento como datos de panel). El hecho de considerar la heterogeneidad asociada a las ASC también parece mejorar especificaciones MNL y NL anteriores, siendo la mayor de las variaciones aquella que está asociada a la alternativa coche (σ_{ASC1}). Por último, la especificación que presenta mayor verosimilitud y bondad de ajuste en ambas localizaciones es aquella en la que se modeliza la heterogeneidad en los gustos asociada al tiempo de viaje en coche (σ_{t1}) y al tiempo de viaje en transporte público (σ_{tpt}). Sin embargo, esto no quiere decir que sea la mejor de las especificaciones para explicar la variabilidad de los datos en ambos casos, y esta cuestión será analizada en el apartado 5.5.3.7. mediante los test de hipótesis no jerarquizadas.

También merece la pena destacar que de nuevo las ASC son candidatas a ser consideradas de forma específica solamente en los modelos pertenecientes a la ciudad de Vitoria-Gasteiz.

Model	ML10(EC) Nantes		ML10(EC) Vitoria-Gasteiz		ML10-t1,pt(RC) Nantes		ML10-t1,pt(RC) Vitoria-Gasteiz		ML10- ASC2(RC) Nantes		ML10- ASC2(RC) Vitoria-Gasteiz	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	0.952	1.01	-0.645	-1.04	1.24	1.32	0.502	0.84	1.05	1.1	-0.315	-0.5
ASC3	0.841	0.91	-1.07	-1.73	1.09	1.18	0.114	0.19	0.909	0.97	-0.904	-1.42
$\beta t,1$	-0.188	-6.23	-0.103	-5.31	-0.195	-5.74	-0.0632	-2.81	-0.19	-6.21	-0.105	-5.3
$\beta t,pt$	-0.189	-11.9	-0.0997	-9.51	-0.2	-10.9	-0.146	-8.77	-0.194	-11	-0.11	-9.43
$\beta c,1$	-0.955	-7.89	-0.998	-9	-0.933	-7.84	-1.08	-9.16	-0.969	-7.83	-1.02	-9.07
$\beta c,pt$	-0.864	-2.84	-1.13	-4.79	-0.93	-3	-1.23	-4.95	-0.89	-2.88	-1.23	-5.01
βf	-0.0835	-3.26	-0.0409	-2.32	-0.0803	-3.12	-0.0446	-2.44	-0.084	-3.22	-0.0501	-2.58
* $\beta nt0$	0.55793	-	0.4314	-	0.5623	-	0.4645	-	0.56181	-	0.4805	-
$\beta nt1$	-0.0019	-0.02	-0.0294	-0.34	-0.0213	-0.17	-0.0805	-0.91	0.00519	0.04	-0.0405	-0.44
$\beta nt2$	-0.556	-4.35	-0.402	-4.33	-0.541	-4.25	-0.384	-4.03	-0.567	-4.37	-0.44	-4.43
σpt	1.56	6.01	2.61	8.62								
ECpt	0	-	0	-								
$\sigma t1$					0.044	2.75	0.129	5.8				
σtpt					0.0605	4.56	0.083	6.54				
$\sigma ASC1$									1.58	5.95	2.64	8.53
$\sigma ASC2$									0	-	0	-
$\sigma ASC3$									0.442	1.26	1.06	5.16
Correlation (ASC2-ASC3)	0.987	0.72	0.983	3.72	0.986	0.96	0.98	3.31	0.984	0.81	0.961	3.3
Halton draws	1000		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	10		10		11		11		11		11	
N observations	522		919		522		919		522		919	
n individuals	59		105		59		105		59		105	
Init log-likelihood	-570.494		-856.132		-622.707		-1068.685		-573.476		-1009.625	
Final log-likelihood	-348.473		-663.785		-346.844		-649.162		-348.162		-653.821	
Adjusted rho-square	0.375		0.333		0.376		0.346		0.374		0.342	

Tabla 5.71. Modelos ML10(EC) y ML10(RC) en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

En este caso se normalizan los coeficientes de las alternativas de transporte público entre el valor absoluto del coste de estas ($\beta c, tp$), y se normalizan los coeficientes de la alternativa coche entre el valor absoluto del coeficiente del tiempo en coche ($\beta c, I$). Tal y como puede verse en las siguientes tablas, las mayores diferencias en los valores de los parámetros normalizados se dan en la categoría “2 transbordos” en los modos de transporte público. También se aprecian diferencias en modelos de las localizaciones para los valores de las ASC, siendo este efecto menor para los modelos NL.

Model	MNL10 Nantes	MNL10 Vitoria-Gasteiz	NL10 Nantes	NL10 Vitoria-Gasteiz	MNL10 Nantes - Vitoria-Gasteiz	NL10 Nantes - Vitoria-Gasteiz
	Value	Value	Value	Value	Difference	Difference
Ratio						
ASC1 / abs($\beta c,pt$)	0	0	0	0	0	0
ASC2 / abs($\beta c,pt$)	2.020	0.611	0.691	0.435	1.409	0.256
ASC3 / abs($\beta c,pt$)	1.919	0.073	0.581	-0.068	1.847	0.649
$\beta t,1$ / abs($\beta c,1$)	-0.177	-0.088	-0.195	-0.089	-0.089	0.107
$\beta t,pt$ / abs($\beta c,pt$)	-0.189	-0.114	-0.194	-0.109	-0.074	-0.085
$\beta c,1$ / abs($\beta c,1$)	-1	-1	-1	-1	0	0
$\beta c,pt$ / abs($\beta c,pt$)	-1	-1	-1	-1	0	0
βf / abs($\beta c,pt$)	-0.086	-0.054	-0.088	-0.050	-0.032	-0.037
* $\beta nt0$ / abs($\beta c,pt$)	0.588	0.549	0.517	0.506	0.039	0.011
$\beta nt1$ / abs($\beta c,pt$)	-0.044	-0.092	0.056	-0.076	0.047	0.132
$\beta nt2$ / abs($\beta c,pt$)	-0.543	-0.457	-0.573	-0.430	-0.086	-0.143

Tabla 5.72. Valores normalizados de los parámetros en modelos MNL10 y NL10 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Model	ML10(EC)	ML10(EC)	ML10-t1,pt(RC)	ML10-t1,pt(RC)	ML10-ASC2(RC)	ML10-ASC2(RC)
	Nantes	Vitoria-Gasteiz	Nantes	Vitoria-Gasteiz	Nantes	Vitoria-Gasteiz
Ratio	Value	Value	Value	Value	Value	Value
ASC1 / abs(β c,pt)	0	0	0	0	0	0
ASC2 / abs(β c,pt)	1.102	-0.571	1.333	0.408	1.180	-0.256
ASC3 / abs(β c,pt)	0.973	-0.947	1.172	0.093	1.021	-0.735
β t,1 / abs(β c,1)	-0.197	-0.103	-0.209	-0.059	-0.196	-0.103
β t,pt / abs(β c,pt)	-0.219	-0.088	-0.215	-0.119	-0.218	-0.089
β c,1 / abs(β c,1)	-1	-1	-1	-1	-1	-1
β c,pt / abs(β c,pt)	-1	-1	-1	-1	-1	-1
β f / abs(β c,pt)	-0.097	-0.036	-0.086	-0.036	-0.094	-0.041
* β nt0 / abs(β c,pt)	0.646	0.382	0.605	0.378	0.631	0.391
β nt1 / abs(β c,pt)	-0.002	-0.026	-0.023	-0.065	0.006	-0.033
β nt2 / abs(β c,pt)	-0.644	-0.356	-0.582	-0.312	-0.637	-0.358

Tabla 5.73. Valores normalizados de los parámetros en modelos ML10(EC) y ML10(RC) en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Model	ML10(EC)	ML10-t1,pt(RC)	ML10-ASC2(RC)
	Nantes -	Nantes -	Nantes -
	Vitoria-Gasteiz	Vitoria-Gasteiz	Vitoria-Gasteiz
Ratio	Difference	Difference	Difference
ASC1 / abs(β c,pt)	0	0	0
ASC2 / abs(β c,pt)	1.673	0.925	1.436
ASC3 / abs(β c,pt)	1.920	1.079	1.756
β t,1 / abs(β c,1)	-0.094	-0.150	-0.093
β t,pt / abs(β c,pt)	-0.131	-0.096	-0.129
β c,1 / abs(β c,1)	0	0	0
β c,pt / abs(β c,pt)	0	0	0
β f / abs(β c,pt)	-0.060	-0.050	-0.054
* β nt0 / abs(β c,pt)	0.264	0.227	0.241
β nt1 / abs(β c,pt)	0.024	0.043	0.039
β nt2 / abs(β c,pt)	-0.288	-0.270	-0.279

Tabla 5.74. Diferencias en los valores normalizados de los parámetros en modelos ML10(EC) y ML10(RC) en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Para finalizar se analizan los valores subjetivos del tiempo para cada uno de los modelos en las 2 localizaciones estudiadas.

Model	MNL10	MNL10	NL10	NL10
	Nantes	Vitoria-Gasteiz	Nantes	Vitoria-Gasteiz
SVT(€/h)	Value	Value	Value	Value
Car (Parking)	10.593	5.263	11.671	5.327
Transit	11.313	6.858	11.616	6.534

Tabla 5.75. Valores de SVT para los modelos MNL10 y NL10 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. B

Model	ML10(EC)	ML10(EC)	ML10-t1,pt(RC)	ML10-t1,pt(RC)	ML10-ASC2(RC)	ML10-ASC2(RC)
	Nantes	Vitoria-Gasteiz	Nantes	Vitoria-Gasteiz	Nantes	Vitoria-Gasteiz
SVT(€/h)	Value	Value	Value	Value	Value	Value
Car (Parking)	11.812	6.192	12.540	3.511	11.765	6.176
Transit	13.125	5.294	12.903	7.122	13.079	5.366

Tabla 5.76. Valores de SVT para los modelos ML10 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 2 / Esc. B

De nuevo estos valores son del orden da casi el doble en la ciudad de Nantes si se comparan con los obtenidos en Vitoria-Gasteiz. Aunque en todos los casos los SVT son razonables, en esta línea de actuación se observan grandes diferencias entre los SVT de las alternativas de transporte público y el coche en el modelo ML10-t1,pt(RC) en Vitoria-Gasteiz. Esto puede ser motivado por el elevado valor de la heterogeneidad en los gustos asociada al tiempo en el coche (σt), que lleva asociado un valor medio del coeficiente ($\beta t, l$) más bajo que en el resto de modelizaciones (véase tabla 5.71.).

5.3.3.5. Experimento 1 / Escenario B

En esta línea de actuación las ASC de las alternativas de transporte público solamente presentan valores significativos para el modelo NL13 en Vitoria-Gasteiz, siendo en este caso negativas. Además, este es el único modelo NL en el que el parámetro de nido es significativamente distinto de 1 (λ_{nestpt}), al contrario de lo que sucedía en el experimento 2/escenario B. Por último se destaca que, al igual que en el caso anterior, los modelos de estas tipologías pertenecientes a Vitoria-Gasteiz presentan valores de los test de igualdad de parámetros para las ASC que indican que pueden tratarse como diferentes. En esta ciudad se aprecia una preferencia hacia el autobús frente al modo ferroviario.

Model	MNL13 Nantes		MNL13 Vitoria-Gasteiz		NL13 Nantes		NL13 Vitoria-Gasteiz	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient								
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	0.656	1.16	-0.373	-0.84	0.142	0.23	-1.07	-2.64
ASC3	0.688	1.22	-0.636	-1.44	0.189	0.31	-1.21	-3.08
$\beta t,1$	-0.0911	-5.47	-0.0701	-4.98	-0.0914	-5.58	-0.0674	-4.97
$\beta t,pt$	-0.121	-11.4	-0.0896	-9.31	-0.1	-6.18	-0.0503	-4.24
$\beta c,1$	-0.485	-7.13	-0.659	-8.03	-0.469	-6.92	-0.606	-7.52
$\beta c,pt$	-0.616	-2.82	-0.805	-3.98	-0.492	-2.33	-0.61	-3.78
βf	-0.0348	-1.88	-0.0206	-1.18	-0.025	-1.64	-0.0033	-0.38
* $\beta nt0$	0.473	-	0.5312	-	0.3872	-	0.27198	-
$\beta nt1$	-0.137	-1.47	-0.0292	-0.34	-0.0952	-1.22	-0.003	-0.07
$\beta nt2$	-0.336	-3.55	-0.502	-5.24	-0.292	-3.6	-0.269	-3.5
$\beta ptA,pt$	0.501	4.99	0.379	4.07	0.437	4.56	0.262	3.71
$\beta ptB,pt$	-0.169	-1.67	-0.157	-1.67	-0.138	-1.61	-0.0589	-1.05
* $\beta ptC,pt$	-0.332	-	-0.222	-	-0.299	-	-0.2031	-
$\lambda nest1$					1	-	1	-
** $\lambda nestpt$					1.35	1.32	2.43	2.33
Correlation (ASC2-ASC3)	0.978	-0.27	0.967	2.4	0.989	-0.51	0.989	2.15
K parameters	11		11		12		12	
N observations	679		902		679		902	
Init log-likelihood	-745.958		-990.948		-745.449		-989.276	
Final log-likelihood	-589.813		-740.225		-588.565		-732.329	
Adjusted rho-square	0.195		0.242		0.195		0.249	

Tabla 5.77. Modelos MNL13 y NL13 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

** El test-t realizado para el parámetro de nido $\lambda nestpt$ se calcula respecto a 1 siendo además un test de una cola

En lo referente a los modelos del tipo ML, todas las variaciones aleatorias son significativamente diferentes de cero en ambas localizaciones. De nuevo solamente pueden considerarse como diferentes las ASC para los modelos de Vitoria-Gasteiz, presentando una preferencia derivada de los factores no observados por el autobús frente al modo ferroviario. En los modelos de esta ciudad las ASC son significativamente distintas de cero y negativas, salvo para el modelo ML13-t1,tp(RC), en cuyo caso no son significativas. Los modelos ML presentan mayor verosimilitud y bondad de ajuste que los modelos MNL y NL correspondientes, siendo superiores en cuanto a la capacidad explicativa del fenómeno reflejado por los datos (véase tabla 5.78.).

Las mayores diferencias en los valores normalizados de los coeficientes se dan en la "categoría A" del tipo de transporte público, además de en los valores de las ASC, tal y como puede verse en las tablas del la 5.79. a la 5.81. De nuevo se normalizan los parámetros correspondientes a las alternativas del transporte público dividiéndolos entre el valor absoluto del parámetro del coste para estas alternativas, y del mismo

modo se dividen los parámetros de la utilidad representativa de la alternativa coche entre el valor absoluto del parámetro del coste de aparcamiento para el coche.

Model	ML13(EC) Nantes		ML13(EC) Vitoria-Gasteiz		ML13-t1,pt(RC) Nantes		ML13-t1,pt(RC) Vitoria-Gasteiz		ML13- ASC2(RC) Nantes		ML13- ASC2(RC) Vitoria-Gasteiz	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	-0.159	-0.22	-1.75	-2.71	0.176	0.23	-0.478	-0.74	-0.0077	-0.01	-1.54	-2.32
ASC3	-0.109	-0.15	-2.05	-3.17	0.253	0.34	-0.857	-1.33	-0.0246	-0.03	-2.02	-3.03
$\beta t,1$	-0.142	-6.44	-0.121	-6.04	-0.148	-5.45	-0.105	-4.21	-0.145	-6.44	-0.121	-5.97
$\beta t,pt$	-0.145	-11.8	-0.114	-9.93	-0.176	-9.82	-0.158	-6.88	-0.156	-11.4	-0.125	-9.82
$\beta c,1$	-0.723	-8	-1.1	-9.3	-0.725	-7.82	-1.16	-9.21	-0.745	-8.07	-1.14	-9.34
$\beta c,pt$	-0.646	-2.54	-1.02	-4.05	-0.645	-2.44	-0.977	-3.68	-0.677	-2.6	-1.08	-4.15
βf	-0.0296	-1.52	-0.0109	-0.57	-0.0309	-1.52	-0.0173	-0.84	-0.0298	-1.45	-0.0108	-0.53
* $\beta nt0$	0.573	-	0.64634	-	0.529	-	0.67182	-	0.593	-	0.6721	-
$\beta nt1$	-0.135	-1.33	0.00566	0.06	-0.14	-1.33	0.00818	0.08	-0.136	-1.29	0.0309	0.31
$\beta nt2$	-0.438	-4.24	-0.652	-6.12	-0.389	-3.68	-0.68	-6.07	-0.457	-4.26	-0.703	-6.19
$\beta ptA,pt$	0.656	5.62	0.549	4.92	0.654	5.46	0.646	5.3	0.7	5.67	0.607	5.1
$\beta ptB,pt$	-0.16	-1.42	-0.188	-1.72	-0.18	-1.48	-0.257	-2.06	-0.187	-1.58	-0.219	-1.89
* $\beta ptC,pt$	-0.496	-	-0.361	-	-0.474	-	-0.389	-	-0.513	-	-0.388	-
opt	1.99	7.62	2.66	8.5								
ECpt	0	-	0	-								
ot1					0.103	3.59	0.15	4.41				
otpt					0.0864	4.39	0.108	3.97				
$\sigma ASC1$									1.99	7.55	2.71	8.18
$\sigma ASC2$									0	-	0	-
$\sigma ASC3$									0.797	3.87	1.01	4.59
Correlation (ASC2-ASC3)	0.985	-0.4	0.982	2.38	0.985	-0.59	0.978	2.8	0.975	0.1	0.959	2.58
Halton draws	1000		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	12		12		13		13		13		13	
N observations	679		902		679		902		902		902	
n individuals	77		104		77		104		104		104	
Init log-likelihood	-692.837		-817.522		-836.031		-976.185		-976.185		-990.948	
Final log-likelihood	-520.254		-603.309		-512.491		-586.647		-586.647		-596.371	
Adjusted rho-square	0.286		0.379		0.296		0.395		0.395		0.385	

Tabla 5.78. Modelos ML13(EC) y ML13(RC) en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Model	MNL13 Nantes	MNL13 Vitoria-Gasteiz	NL13 Nantes	NL13 Vitoria-Gasteiz	NL13 Nantes - Vitoria-Gasteiz	NL13 Nantes - Vitoria-Gasteiz
	Value	Value	Value	Value	Difference	Difference
Ratio						
ASC1 / abs($\beta c,pt$)	0	0	0	0	0	0
ASC2 / abs($\beta c,pt$)	1.065	-0.463	0.289	-1.754	1.528	2.043
ASC3 / abs($\beta c,pt$)	1.117	-0.790	0.384	-1.984	1.907	2.368
$\beta t,1$ / abs($\beta c,1$)	-0.188	-0.106	-0.195	-0.111	-0.081	-0.084
$\beta t,pt$ / abs($\beta c,pt$)	-0.196	-0.111	-0.203	-0.082	-0.085	-0.121
$\beta c,1$ / abs($\beta c,1$)	-1	-1	-1	-1	0	0
$\beta c,pt$ / abs($\beta c,pt$)	-1	-1	-1	-1	0	0
βf / abs($\beta c,pt$)	-0.056	-0.026	-0.051	-0.005	-0.031	-0.045
* $\beta nt0$ / abs($\beta c,pt$)	0.768	0.660	0.787	0.446	0.108	0.341
$\beta nt1$ / abs($\beta c,pt$)	-0.222	-0.036	-0.193	-0.005	-0.186	-0.189
$\beta nt2$ / abs($\beta c,pt$)	-0.545	-0.624	-0.593	-0.441	0.078	-0.153
$\beta ptA,pt$ / abs($\beta c,pt$)	0.813	0.471	0.888	0.430	0.343	0.459
$\beta ptB,pt$ / abs($\beta c,pt$)	-0.274	-0.195	-0.280	-0.097	-0.079	-0.184
* $\beta ptC,pt$ / abs($\beta c,pt$)	-0.539	-0.276	-0.608	-0.333	-0.263	-0.275

Tabla 5.79. Valores normalizados de los parámetros en modelos MNL13 y NL13 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Model	ML13(EC)	ML13(EC)	ML13-t1,pt(RC)	ML13-t1,pt(RC)	ML13-ASC2(RC)	ML13-ASC2(RC)
	Nantes	Vitoria-Gasteiz	Nantes	Vitoria-Gasteiz	Nantes	Vitoria-Gasteiz
Ratio	Value	Value	Value	Value	Value	Value
ASC1 / abs(β c,pt)	0	0	0	0	0	0
ASC2 / abs(β c,pt)	-0.246	-1.716	0.273	-0.489	-0.011	-1.426
ASC3 / abs(β c,pt)	-0.169	-2.010	0.392	-0.877	-0.036	-1.870
β t,1 / abs(β c,1)	-0.196	-0.110	-0.204	-0.091	-0.195	-0.106
β t,pt / abs(β c,pt)	-0.224	-0.112	-0.273	-0.162	-0.230	-0.116
β c,1 / abs(β c,1)	-1	-1	-1	-1	-1	-1
β c,pt / abs(β c,pt)	-1	-1	-1	-1	-1	-1
β f / abs(β c,pt)	-0.046	-0.011	-0.048	-0.018	-0.044	-0.010
* β nt0 / abs(β c,pt)	0.887	0.634	0.820	0.688	0.876	0.622
β nt1 / abs(β c,pt)	-0.209	0.006	-0.217	0.008	-0.201	0.029
β nt2 / abs(β c,pt)	-0.678	-0.639	-0.603	-0.696	-0.675	-0.651
β ptA,pt / abs(β c,pt)	1.015	0.538	1.014	0.661	1.034	0.562
β ptB,pt / abs(β c,pt)	-0.248	-0.184	-0.279	-0.263	-0.276	-0.203
* β ptC,pt / abs(β c,pt)	-0.768	-0.354	-0.735	-0.398	-0.758	-0.359

Tabla 5.80. Valores normalizados de los parámetros en modelos ML13(EC) y ML13(RC) en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

Model	ML13(EC)	ML13-t1,pt(RC)	ML13-ASC2(RC)
	Nantes -	Nantes -	Nantes -
	Vitoria-Gasteiz	Vitoria-Gasteiz	Vitoria-Gasteiz
Ratio	Difference	Difference	Difference
ASC1 / abs(β c,pt)	0	0	0
ASC2 / abs(β c,pt)	1.470	0.762	1.415
ASC3 / abs(β c,pt)	1.841	1.269	1.834
β t,1 / abs(β c,1)	-0.086	-0.114	-0.088
β t,pt / abs(β c,pt)	-0.113	-0.111	-0.115
β c,1 / abs(β c,1)	0	0	0
β c,pt / abs(β c,pt)	0	0	0
β f / abs(β c,pt)	-0.035	-0.030	-0.034
* β nt0 / abs(β c,pt)	0.253	0.133	0.254
β nt1 / abs(β c,pt)	-0.215	-0.225	-0.229
β nt2 / abs(β c,pt)	-0.039	0.093	-0.024
β ptA,pt / abs(β c,pt)	0.477	0.353	0.472
β ptB,pt / abs(β c,pt)	-0.063	-0.016	-0.073
* β ptC,pt / abs(β c,pt)	-0.414	-0.337	-0.398

Tabla 5.81. Diferencias en los valores normalizados de los parámetros en modelos ML13(EC) y ML13(RC) en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

La influencia del atributo tipo de transporte público vuelve a tener una aportación importante en la utilidad de las alternativas de transporte público, obteniéndose unos valores con signos y magnitudes teóricamente esperables. Si se analizan los modelos por PARES para las categorías de este atributo se observa que los coeficientes correspondientes a la "categoría A" son candidatos a ser específicos para los modelos de ambas localizaciones (excepto NL de Vitoria-Gasteiz).

Model	Location	Coefficient 1	Coefficient 2	Covariance	t-test	Significance
MNL13-ptA	Vitoria-Gasteiz Nantes	$\beta_{ptA,2}$	$\beta_{ptA,3}$	0.172	-1.98	95.23%
				0.181	2.11	96.51%
NL13-ptA	Vitoria-Gasteiz Nantes	$\beta_{ptA,2}$	$\beta_{ptA,3}$	0.346	-1.35	82.30%
				0.27	2.02	95.66%
ML13-ptA(EC)	Vitoria-Gasteiz Nantes	$\beta_{ptA,2}$	$\beta_{ptA,3}$	0.19	-2.05	95.96%
				0.218	2	95.45%

Tabla 5.82. Test-t de igualdad de parámetros para la categoría tipo de transporte público A en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B

Merece la pena destacar que estas son las 2 únicas localizaciones estudiadas en las que sucede esto en tantas tipologías de modelos, por lo que no se han tomado estos modelos como los de referencia en el análisis del reparto modal.

Tal y como sucedía en el experimento 1/escenario A, no se obtienen mejoras significativas al considerar como específicos los coeficientes de la “categoría B” del tipo de transporte público.

Model	Location	Coefficient 1	Coefficient 2	Covariance	t-test	Significance
MNL13-ptB	Vitoria-Gasteiz Nantes	$\beta_{ptB,2}$	$\beta_{ptB,3}$	0.102	-0.17	13.50%
				0.0898	0.17	13.50%
NL13-ptB	Vitoria-Gasteiz Nantes	$\beta_{ptB,2}$	$\beta_{ptB,3}$	0.173	-0.39	30.35%
				0.126	0.12	9.55%
ML13-ptB(EC)	Vitoria-Gasteiz Nantes	$\beta_{ptB,2}$	$\beta_{ptB,3}$	0.0803	-0.7	51.61%
				0.112	0.17	13.50%

Tabla 5.83. Test-t de igualdad de parámetros para la categoría tipo de transporte público B en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B

En cuanto al efecto de cada una de las categorías de este atributo sobre la utilidad de las alternativas de transporte público, ya sea de forma independiente o conjuntamente con la ASC correspondiente, en ambas ciudades puede considerarse como lineal. Esto puede apreciarse en las figuras siguientes. En primer lugar se muestran los valores de los coeficientes para los modelos de referencia presentados en ambas localizaciones, pudiendo apreciarse que no existen diferencias importantes entre estas.

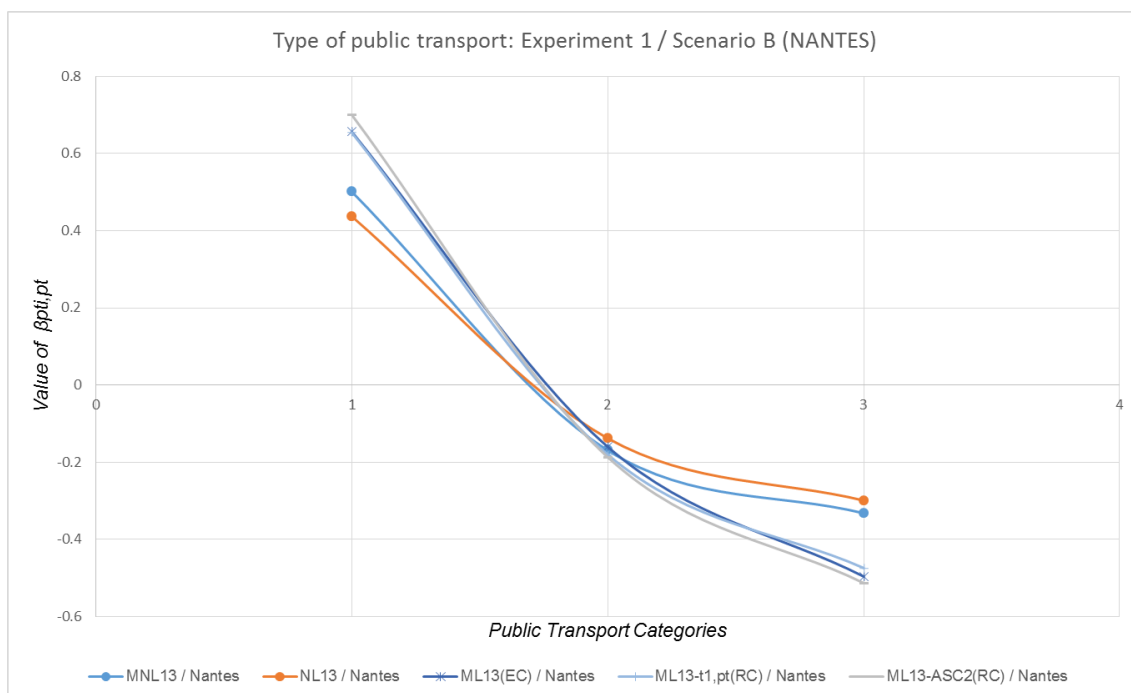


Fig. 5.8.a. Variación de los coeficientes del tipo de transporte público en Nantes: Exp. 1 / Esc. B

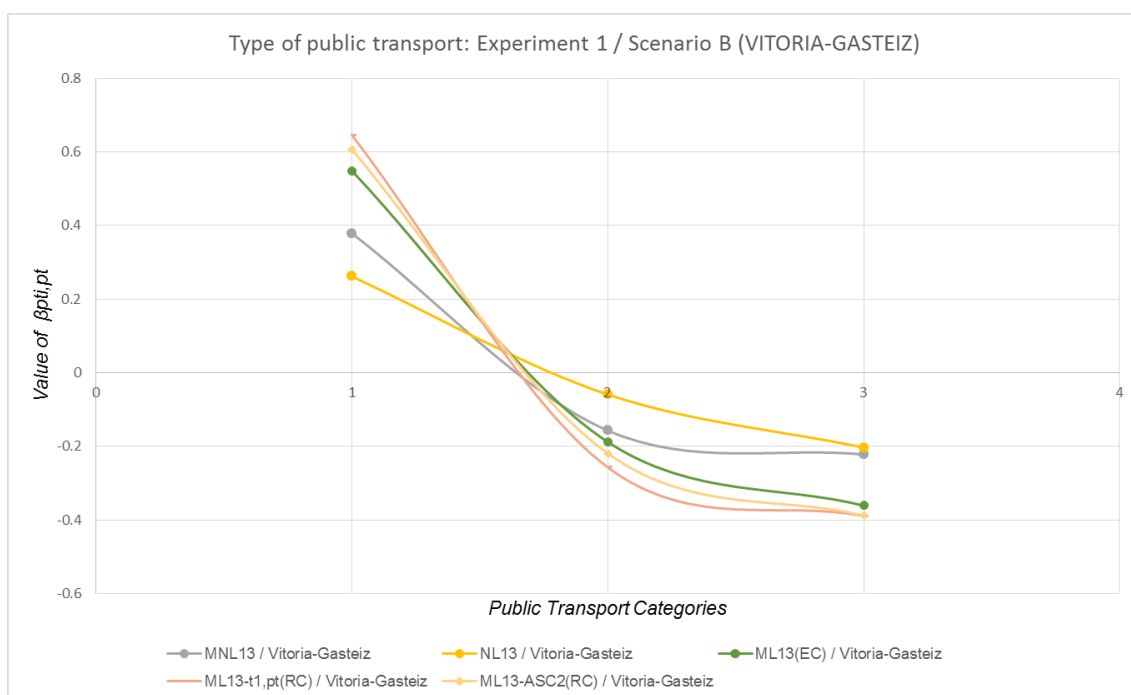


Fig. 5.8.b. Variación de los coeficientes del tipo de transporte público en Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B

A continuación se presentan los efectos conjuntos de los coeficientes del tipo de transporte público y las ASC correspondientes. En este caso sí se aprecian diferencias

importantes en los efectos observados en las distintas ciudades: en Nantes estos tienen una variación menor en Vitoria-Gasteiz estos efectos varían más en función del modelo considerado.

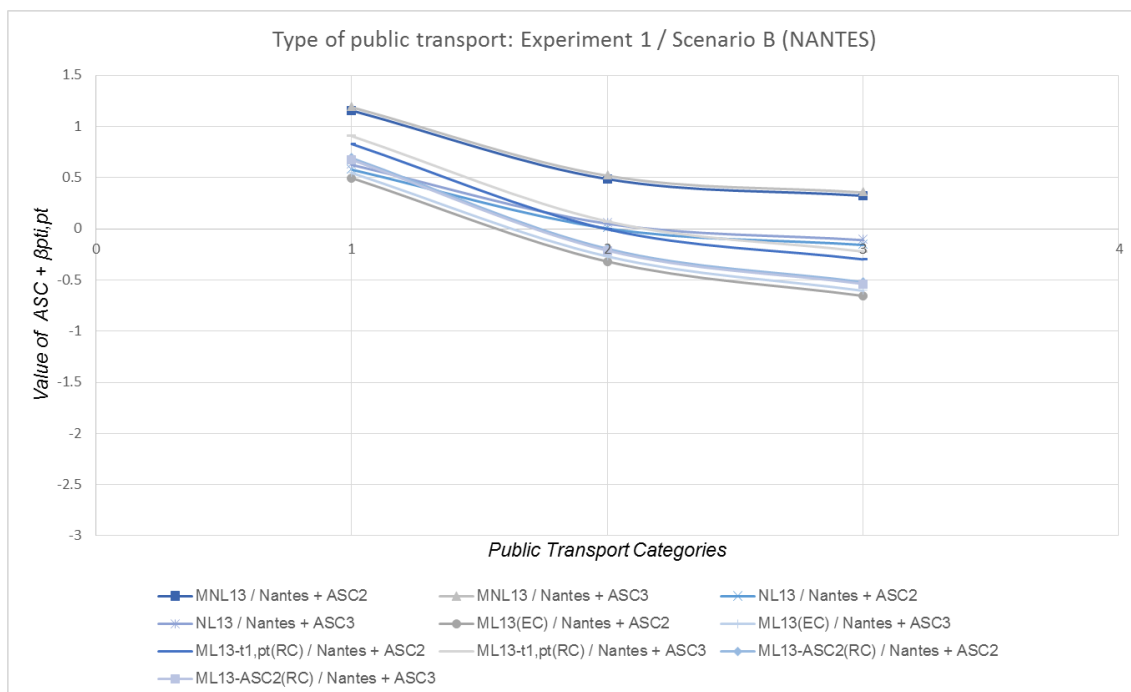


Fig. 5.9.a. Efecto conjunto de los coeficientes del tipo de transporte público y ASC en Nantes: Exp. 1 / Esc. B

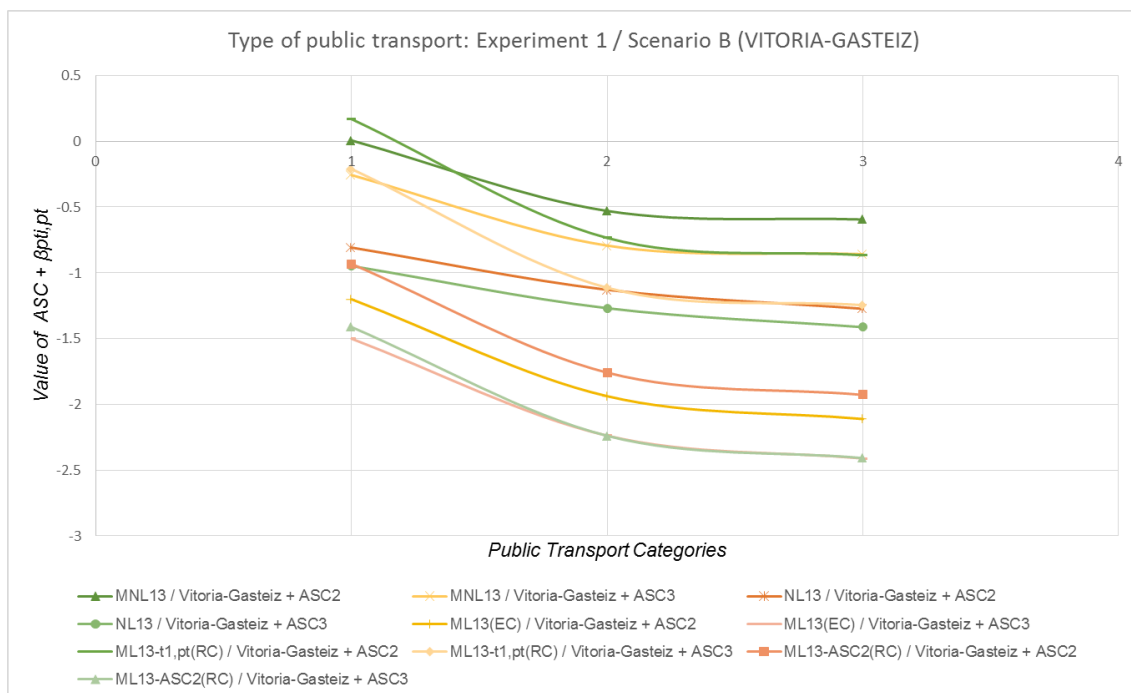


Fig. 5.9.b. Efecto conjunto de los coeficientes del tipo de transporte público y ASC en Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B

Por último se muestran los valores subjetivos del tiempo correspondientes a esta última línea de actuación. Tal y como sucedía a lo largo del apartado, todos los valores obtenidos son razonables siendo en Nantes del orden de casi el doble que en Vitoria-Gasteiz. Los SVT de las alternativas de transporte público son, en líneas generales, ligeramente superiores que los correspondientes al coche (a excepción del modelo NL13 de Vitoria-Gasteiz). De nuevo las mayores diferencias en este respecto se dan en el modelo ML13-t1,tp(RC) en la ciudad de Vitoria-Gasteiz, siendo también las diferencias importantes en la ciudad de Nantes en este caso.

Model	MNL13 Nantes	MNL13 Vitoria-Gasteiz	NL13 Nantes	NL13 Vitoria-Gasteiz
SVT(€/h)	Value	Value	Value	Value
Car (Parking)	11.270	6.382	11.693	6.673
Transit	11.786	6.678	12.195	4.948

Tabla 5.84. Valores de SVT para los modelos MNL13 y NL13 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B

Model	ML13(EC) Nantes	ML13(EC) Vitoria-Gasteiz	ML13-t1,pt(RC) Nantes	ML13-t1,pt(RC) Vitoria-Gasteiz	ML13-ASC2(RC) Nantes	ML13-ASC2(RC) Vitoria-Gasteiz
SVT(€/h)	Value	Value	Value	Value	Value	Value
Car (Parking)	11.784	6.600	12.248	5.431	11.678	6.368
Transit	13.467	6.706	16.372	9.703	13.826	6.944

Tabla 5.85. Valores de SVT para los modelos ML13 en la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz: Exp. 1 / Esc. B

5.5.3.6. Efectos de la elección de modo PR y usuarios habituales de la red de transporte público existente

En este apartado se analizan, de forma generalizada, los resultados obtenidos en los modelos que incluyen la elección de modo PR y la experiencia previa con la red de transporte PR, ya sea de forma independiente o conjunta. Para más información se remite al lector a los anexos correspondientes a cada localización (A16 y A21 para Nantes y Vitoria-Gasteiz, respectivamente).

En primer lugar, y teniendo en cuenta la capacidad explicativa que aportan estas variables, se observa que solamente los modelos en los que se incorpora la elección de modo PR ofrecen mejoras significativas frente a los modelos de referencia. Esto se cumple tanto si se considera esta variable de forma individual, como de forma conjunta con la experiencia previa con la red de transporte PR para los experimentos 2 y 1, y

para los escenarios A y B. Cabe señalar que cuando se consideran observaciones del escenario B, en ningún caso se justifica la especificación como específicos de los parámetros asociados a las categorías de este atributo frente a su especificación como genéricos.

En segundo lugar, y dados los valores de los parámetros para la elección de modo PR, pueden hacerse las siguientes afirmaciones:

- Los usuarios de modos no motorizados PR tienden a elegir alternativas de transporte público PD, siendo su elección preferida el modo ferroviario para el escenario B (coche disponible). Si no tienen el coche disponible (escenario A), esta tendencia no se mantiene para el experimento 1, siendo los coeficientes correspondientes a la categoría “no motorizado” ($\beta_{ch1,3}$) negativos. En cualquier caso los valores de estos coeficientes son muy próximos a cero, por lo que no puede asegurarse que esta tendencia se invierta. Además, en el caso del experimento 2 estos valores permanecen positivos y tienen una magnitud mayor.
- Los usuarios de transporte privado tienden a penalizar en mayor medida al autobús en el caso de Nantes, y al modo ferroviario en el caso de Vitoria-Gasteiz, estando o no disponible el coche. Además, si esa alternativa privada está disponible (escenario B) los valores de los coeficientes de esta categoría ($\beta_{ch2,i}$) son siempre significativos.
- De forma general los usuarios de transporte público PR, ya sea un sistema basado en el autobús o un sistema ferroviario, penalizan más al autobús que al modo ferroviario en el caso de Nantes mientras que en el caso de Vitoria-Gasteiz sucede lo contrario.

5.5.3.7. Test de hipótesis no jerarquizadas

A continuación se realizan comparaciones entre los diferentes modelos de tipologías NL y ML, como antesala a su empleo en el análisis del comportamiento de una población simulada que se enfrenta a determinadas situaciones de mercado. Los nuevos escenarios contemplados permitirán valorar qué sucedería si se presenta la situación teórica que es objeto de esta investigación, es decir, si se plantea la implantación de un SCI basado en el autobús (BHLS) o ferroviario (LRT) en una localización en la que existe un sistema de autobús convencional.

El tipo de test empleado permite evaluar qué modelo NL o ML se ajusta mejor al fenómeno estudiado, aun cuando los modelos comparados no compartan relación de inclusión en sus especificaciones. La fórmula para el cálculo de este test ya ha sido mostrada en la expresión (5.39), obteniéndose con la misma la probabilidad de que la bondad de ajuste (rho cuadrado ajustado, ρ^2_{adj}) del modelo 2 sea mayor que la del modelo 1 para alguna probabilidad z , dado que el modelo 1 es el verdadero. Por lo tanto, si se selecciona el modelo con mayor valor de rho cuadrado ajustado, este test indica la probabilidad de elegir el modelo erróneo sobre la especificación correcta (así que debe ser menor que 0.05 para que se acepte que el modelo con mayor rho cuadrado ajustado es el correcto con una significatividad estadística del 95%).

De forma previa a la presentación de los resultados obtenidos con los test de hipótesis no jerarquizadas merece la pena destacar que, cuando se considera el escenario A, solamente se obtiene un modelo ML de referencia (ML10-tpt(RC) para el experimento 2 o ML13-tpt(RC) para el experimento 1). Dado que el modelo de referencia correspondiente (MNL10 o MNL13) presenta una relación de inclusión con el anterior, es posible compararlos mediante el test de razón de verosimilitud (LR). En las tablas 5.60. y 5.64. puede verse que los modelos ML-tpt(RC) son superiores a los modelos MNL correspondientes en lo que a capacidad explicativa del fenómeno se refiere.

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos mediante los test de hipótesis no jerarquizadas para los diferentes modelos correspondientes al escenario B, siendo N el número de observaciones, J el número de alternativas disponibles y K el número de coeficientes o parámetros estimados. En la última fila de cada una de las tablas (*True model (95%)*) se muestra la denominación del modelo que resulta ser el superior entre los 2 modelos comparados en cada columna.

<i>Location: Nantes</i>	1: NL10	1: ML10-ASC2(RC)	1: ML10-ASC2(RC)
	vs	vs	vs
	2: ML10(EC)	2: ML10(EC)	2: ML10-t1,pt(RC)
$\rho^2_{adj}(1)$ (true)	0.338	0.374	0.374
$\rho^2_{adj}(2)$	0.375	0.375	0.376
K1	10	11	11
K2	10	10	11
Prob $[(\rho^2_{adj}(2)-\rho^2_{adj}(1))>z]$	0.00%	35.07%	6.49%
N	522	522	522
J	3	3	3
z	0.037	0.001	0.002
True model (95%)	ML10(EC)	ML10-ASC2(RC)	ML10-ASC2(RC)

Tabla 5.86. Test de hipótesis no jerarquizadas para modelos NL10 y ML10: Exp. 2 / Esc. B, Nantes

Location: Vitoria-Gasteiz	1: NL10	1: ML10(EC)	1: ML10-ASC2(RC)
	vs	vs	vs
	2: ML10(EC)	2: ML10-ASC2(RC)	2: ML10-t1,pt(RC)
$\rho^2_{adj}(1)$ (true)	0.192	0.333	0.342
$\rho^2_{adj}(2)$	0.333	0.342	0.346
K1	10	10	11
K2	10	11	11
Prob $[(\rho^2_{adj}(2)-\rho^2_{adj}(1))>z]$	0.00%	0.00%	0.22%
N	919	919	919
J	3	3	3
z	0.141	0.009	0.004
True model (95%)	ML10(EC)	ML10-ASC2(RC)	ML10-t1,pt(RC)

Tabla 5.87. Test de hipótesis no jerarquizadas para modelos NL10 y ML10: Exp. 2 / Esc. B, Vitoria-Gasteiz

Location: Nantes	1: NL13	1: ML10(EC)	1: ML10-ASC2(RC)
	vs	vs	vs
	2: ML10(EC)	2: ML10-ASC2(RC)	2: ML10-t1,pt(RC)
$\rho^2_{adj}(1)$ (true)	0.195	0.286	0.291
$\rho^2_{adj}(2)$	0.286	0.291	0.296
K1	12	12	13
K2	12	13	13
Prob $[(\rho^2_{adj}(2)-\rho^2_{adj}(1))>z]$	0.00%	0.18%	0.32%
N	679	679	679
J	3	3	3
z	0.091	0.005	0.005
True model (95%)	ML13(EC)	ML13-ASC2(RC)	ML13-t1,pt(RC)

Tabla 5.88. Test de hipótesis no jerarquizadas para modelos NL13 y ML13: Exp. 1 / Esc. B, Nantes

Location: Vitoria-Gasteiz	1: NL13	1: ML13(EC)	1: ML13-ASC2(RC)
	vs	vs	vs
	2: ML13(EC)	2: ML13-ASC2(RC)	2: ML13-t1,pt(RC)
$\rho^2_{adj}(1)$ (true)	0.249	0.379	0.385
$\rho^2_{adj}(2)$	0.379	0.385	0.395
K1	12	12	13
K2	12	13	13
Prob $[(\rho^2_{adj}(2)-\rho^2_{adj}(1))>z]$	0.00%	0.02%	0.00%
N	902	902	902
J	3	3	3
z	0.13	0.006	0.01
True model (95%)	ML13(EC)	ML13-ASC2(RC)	ML13-t1,pt(RC)

Tabla 5.89. Test de hipótesis no jerarquizadas para modelos NL13 y ML13: Exp. 1 / Esc. B, Vitoria-Gasteiz

Se observa que el modelo que mejor se ajusta a las observaciones es diferente en función del experimento y localización considerados. Mientras que para el experimento 2 los modelos superiores son el ML10-ASC2(RC) en Nantes y el ML10-t1,pt(RC) en

Vitoria-Gasteiz, para el experimento 1 el ML13-t1,tp(RC) es superior en todas las localizaciones. Por este motivo el modelo considerado como el que mejor representa el fenómeno es este último. Además, se trata de un modelo análogo al modelo que ha resultado ser superior si se consideran observaciones del escenario A (modelos ML10-tpt(RC) y ML13-tpt(RC)).

Cabe destacar que en el capítulo 6 se analizará el reparto modal teniendo en cuenta además de este modelo, en el que se consideran variaciones en los gustos asociadas a los coeficientes del tiempo en coche y en transporte público, los modelos MNL13 y ML13(EC). Esto se realiza con el objetivo de comparar como afectan las distintas estructuras de error (independencia de alternativas irrelevantes y correlación entre alternativas, respectivamente) al reparto modal en las diferentes simulaciones realizadas. Solamente se emplearán observaciones correspondientes al experimento 1, lo que permitirá comparar directamente los resultados obtenidos para las 2 localizaciones, evitando así que existan diferencias derivadas de la tipología de modelo empleada. Además, este es el experimento que ofrece mayor consistencia teórica con el fenómeno estudiado, ya que permite clasificar los distintos sistemas de transporte público según la calidad del servicio prestado en función de si se trata de sistemas convencionales, mejorados o sistemas de capacidad intermedia (BHLS y LRT).

5.5.3.8. Conclusiones de la comparación de Nantes frente a Vitoria-Gasteiz

Tal y como se ha visto en apartados anteriores, las conclusiones que pueden extraerse de la comparación entre los modelos obtenidos para las ciudades de Nantes y Vitoria-Gasteiz son diferentes en función del escenario considerado. A continuación se expone un resumen de las mismas teniendo en cuenta este aspecto.

Escenario A

Las principales conclusiones derivadas de los resultados obtenidos a partir de las observaciones correspondientes a este escenario son las siguientes:

- En todos los casos de este escenario A (para ambos experimentos y ciudades comparadas), los modelos ML-tpt(RC) son superiores a los modelos MNL de referencia. Este hecho es un indicador de la significatividad de la correlación entre observaciones pertenecientes a un mismo individuo y de las variaciones en los gustos asociados a los coeficientes del tiempo.

- La probabilidad de elección en igualdad de condiciones a partir de los modelos MNL es mayor para el autobús en la ciudad de Vitoria-Gasteiz. En Nantes esta tendencia se mantiene en el experimento 2, mientras que la probabilidad de elegir autobús es ligeramente inferior en el experimento 1.
- En cualquier caso estas probabilidades no son concluyentes ya que la ASC_3 correspondiente a la alternativa ferroviaria no es significativa en la ciudad de Nantes, mientras que en Vitoria-Gasteiz sí lo es (excepto en el modelo ML10-tpt(RC)).
- Las mayores diferencias entre estas ciudades que se presentan en los parámetros normalizados se dan en las variables categóricas. En concreto, en el coeficiente de la categoría “2 transbordos” (experimento 2) y en el de la “categoría A” del tipo de transporte público (experimento 1). Además, se aprecian diferencias importantes en las ASC.
- En cuanto al efecto sobre la utilidad de las distintas categorías del tipo de transporte público, se aprecia una linealidad marcada en ambas ciudades. Sin embargo solamente en la ciudad de Nantes los coeficientes de la “categoría A” pueden ser candidatos a ser tratados como específicos, obteniéndose mejoras significativas en la capacidad explicativa de la variabilidad de los datos que representan el fenómeno estudiado.

Escenario B

En lo relativo a la comparación entre modelos del escenario B las principales conclusiones pueden resumirse en los siguientes puntos.

- En lo referente a la correlación entre alternativas analizada desde la perspectiva de los modelos NL, se aprecia que mientras que en el experimento 2 solamente es significativa en el caso de Nantes (NL10), en el experimento 1 (NL13) sucede lo contrario, siendo el caso de Vitoria-Gasteiz el único en el que esta correlación es significativa.
- Independientemente de lo anterior, todos los modelos del tipo ML(EC) mejoran significativamente la capacidad explicativa de los modelos MNL y NL correspondientes. Esto puede indicar que tanto la correlación entre alternativas como la correlación entre observaciones de un mismo individuo son significativas en la modelización del fenómeno estudiado.
- Los modelos en los que se estudian variaciones en los gustos (modelos ML-(RC)) son los más adecuados de entre todas las especificaciones en ambas localizaciones. Los modelos ML10-tpt(RC) y ML13-t1,pt(RC) son los

mejores para ambos experimentos y ciudades, salvo en el caso de Nantes para el experimento 2 (en el que el modelo ML10-ASC2(RC) es superior a la vista de los resultados del test de hipótesis no jerarquizadas).

- Las ASC de las alternativas de transporte público son significativas en el experimento 1 y la ciudad de Vitoria-Gasteiz, salvo para el modelo ML13-t1,pt(RC). Generalizando, estas ASC presentan signos positivos en los modelos de la ciudad de Nantes (salvo los ML del experimento 1), y signo negativo en modelos de Vitoria-Gasteiz (excepto para el MNL10).

Los test de igualdad de parámetros correspondientes a las ASC ofrecen resultados diferentes para las 2 ciudades, y mientras que para los modelos de Vitoria-Gasteiz las ASC son claras candidatas a ser tratadas como diferentes, en la ciudad de Nantes no puede asegurarse que estas ASC de las alternativas del transporte público puedan considerarse como diferentes.

- Tal y como sucedía en el escenario A los coeficientes normalizados que presentan mayor variación entre ciudades son los correspondientes a las variables en categorías (“2 transbordos” y “categoría A”), además de existir una variación elevada en los valores de las ASC.
- También se repiten la tendencia del escenario A en los valores del tiempo (SVT), siendo los correspondientes a Nantes del orden del doble de los calculados en Vitoria-Gasteiz. En este caso se calculan los SVT para la alternativa coche, que resultan ser levemente inferiores a los SVT para el transporte público en ambas ciudades. En los modelos del tipo ML-t1,pt(RC) estas diferencias son mayores.
- De nuevo se aprecia una linealidad en el efecto del atributo tipo de transporte público sobre la utilidad, siendo el efecto conjunto de las categorías de este atributo más la ASC correspondiente mucho más uniforme entre los distintos modelos en la ciudad de Nantes. Además, los parámetros de la “categoría A” podrían ser tratados como específicos en todos los modelos de referencia salvo para el caso del NL13 en Vitoria-Gasteiz.

Por último se destaca que los principales aspectos correspondientes a los modelos en los que se consideran variables de la sección PR de la encuesta se han mostrado en el apartado correspondiente (en este caso el 5.5.3.6.).

5.6. Conclusiones

Todas las conclusiones mostradas en este apartado son generales y se cumplen en la mayoría de los modelos analizados. Estas pueden dividirse en 4 grandes grupos, en función de los aspectos analizados en cada caso: constantes específicas de las alternativas, probabilidad de elección en igualdad de condiciones, atributo tipo de transporte público y variables de la encuesta PR.

Para finalizar se presentan las conclusiones generales de los 2 primeros casos particulares planteados en el apartado 5.5., puesto que las conclusiones de la comparación entre Nantes y Vitoria-Gasteiz se han mostrado en el apartado anterior.

5.6.1. Constantes específicas de las alternativas

Los valores que se obtienen para las ASC de las alternativas muestran una serie de características comunes en función de la localización considerada, experimento, escenario, etc. De forma general puede afirmarse lo siguiente:

- En la mayoría de las ciudades francesas el valor de las ASC para el modo ferroviario (*ASC3*) es mayor que el de las ASC para el autobús (*ASC2*), independientemente del experimento y escenario considerado. La ciudad de Nantes es la excepción en este caso, para la cual la tendencia se invierte en la mayor parte de los modelos estimados. Esto podría indicar a priori una preferencia inherente hacia el modo ferroviario en esas ciudades, independientemente del experimento y escenario considerado. Pero antes de realizar tal afirmación es necesario confirmar que las ASC de las alternativas de transporte público son significativamente distintas entre sí.
- En el caso de las ciudades españolas sucede lo contrario que en la mayoría de ciudades francesas (excepto Nantes), es decir, el valor de las ASC para el modo ferroviario es menor que el de la ASC del autobús, lo que podría indicar una preferencia hacia el autobús.
- En modelos con observaciones del escenario B, los valores de las ASC de ambas alternativas de transporte público suelen tener el mismo signo. De nuevo se observan diferencias en función de la localización, siendo estos valores positivos para las ciudades francesas y negativos para las españolas. En cualquier caso de nuevo es necesario analizar la significativa estadística de

estas ASC antes de extraer cualquier conclusión basada en los valores de las mismas.

- Las ASC del modo ferroviario ($ASC3$) en la mayor parte de los modelos del escenario A (solamente autobús y modo ferroviario disponibles), no son significativamente distintas de cero si se considera el experimento 2. Como excepciones destacan Valenciennes y A Coruña. Sin embargo, para los modelos del experimento 1 (considerando tipo de transporte público) estas ASC son significativas en todos los casos salvo en la ciudad de Nantes.

Este hecho puede ser debido a lo siguiente: cuando los individuos eligen una alternativa en el experimento 1 se muestra de forma explícita la calidad del servicio de cada alternativa; en este contexto y ante una igualdad de la calidad y del resto de variables, aparece una preferencia media hacia uno de los modos. Sin embargo cuando se enfrentan al experimento 2 los encuestados tienen una imagen prefijada en la que influye la calidad que asocian a cada uno de los 2 sistemas de transporte, y eligen una alternativa en función de esa imagen, siendo en este caso la preferencia media no significativa (basándose en los valores de las ASC). Por lo tanto puede decirse que en ese contexto existe una mayor variabilidad a la hora de percibir cual es el transporte superior en igualdad de condiciones por parte de los encuestados. Deben matizarse estas afirmaciones ya que estas diferencias también pueden ser debidas en parte a que las muestras son diferentes para los 2 experimentos.

- En lo referente a las ASC de modelos del escenario B, no puede asegurarse que sean significativamente distintas de cero en la mayor parte de localizaciones y modelos de ambos experimentos. Dados los resultados de los test de igualdad de parámetros puede afirmarse que las ASC en modelos de ciudades españolas (A Coruña y Vitoria-Gasteiz) pueden ser tratadas de forma específica para las alternativas de transporte público independientemente del experimento considerado. En cuanto a las ciudades francesas, solamente sucede esto en los modelos del experimento 1 para las ciudades de Clermont-Ferrand y, en menor medida, en Valenciennes.
- Por último, cabe señalar que para modelos $MLref-ASC(RC)$, en los que se permiten variaciones aleatorias asociadas a 2 de las 3 ASC, la desviación asociada al autobús (σ_{ASC2}) es la que presenta el menor valor y es tomada como referencia. Por lo tanto, y generalizando, existe una menor variabilidad entre los encuestados respecto a la influencia en la elección de los factores no observados de esta alternativa respecto a la variabilidad de los factores no

observados del resto de alternativas. La alternativa a la que se asocia la mayor variabilidad en todas las localizaciones es el coche (σ_{ASCI}).

5.6.2. Probabilidad de elección en igualdad de condiciones

De nuevo pueden apreciarse diferencias en función de la localización y del experimento considerado. En el caso del experimento 2 para todas las ciudades francesas excepto Nantes la probabilidad de elección de la alternativa ferroviaria es mayor que la del autobús. En ambas ciudades españolas sucede lo contrario, siendo la probabilidad de elegir autobús mayor. Esto es una consecuencia directa de los valores de las $ASC3$, ya que es la única diferencia existente en la utilidad de las alternativas (igualdad de condiciones). Por lo tanto las anteriores afirmaciones solamente serán concluyentes para los casos en los que la $ASC3$ sea significativa, es decir, en Valenciennes y A Coruña. Los resultados se muestran en la tabla siguiente.

<i>Location</i>	MNL10		
	<i>P_{bus-based}</i>	<i>P_{rail-based}</i>	<i>P_{bus-based} - P_{rail-based}</i>
Nantes	52.62%	47.38%	5.25%
Valenciennes	40.40%	59.60%	-19.21%
Clermont-Ferrand	46.66%	53.34%	-6.69%
Lille	49.44%	50.56%	-1.12%
A Coruña	69.17%	30.83%	38.34%
Vitoria-Gasteiz	54.46%	45.54%	8.93%
Mean _{France}	47.28%	52.72%	-5.44%
Mean _{Spain}	61.82%	38.18%	23.63%
Mean	44.68%	41.04%	3.64%

Tabla 5.90. Probabilidad de elección de las alternativas de transporte público en igualdad de condiciones:

Exp. 2 / Esc. A

Para los modelos del experimento 1 las $ASC3$ son significativas en todas las localizaciones salvo en Nantes. Por tanto, excepto para esta ciudad puede concluirse que existe una preferencia hacia el modo ferroviario en las ciudades francesas estudiadas, mientras que en las españolas esta preferencia es favorable al autobús.

<i>Location</i>	MNL13		
	<i>P_{bus-based}</i>	<i>P_{rail-based}</i>	<i>P_{bus-based} - P_{rail-based}</i>
Nantes	48.21%	51.79%	-3.58%
Valenciennes	39.60%	60.40%	-20.79%
Clermont-Ferrand	39.22%	60.78%	-21.56%
Lille	44.87%	55.13%	-10.26%
A Coruña	69.06%	30.94%	38.12%
Vitoria-Gasteiz	54.81%	45.19%	9.62%
Mean _{France}	42.98%	57.02%	-14.05%
Mean _{Spain}	61.94%	38.06%	23.87%
Mean	42.25%	43.46%	-1.21%

Tabla 5.91. Probabilidad de elección de las alternativas de transporte público en igualdad de condiciones:

Exp. 1 / Esc. A

Merece la pena recordar que las muestras para los distintos experimentos son diferentes, por lo que es esperable que existan diferencias en las tendencias observadas. Es importante destacar que las afirmaciones de este apartado 5.6.2. solamente son aplicables a los modelos del escenario A.

5.6.3. Tipo de transporte público

Este es uno de los aspectos fundamentales que se analiza en esta investigación. También se encuentran diferencias significativas en la influencia que este atributo tiene en la elección de modo en las distintas localizaciones estudiadas. A continuación se muestran los resultados obtenidos en los test de igualdad de parámetros para las categorías “A” y “B” de este atributo, en primer lugar para el escenario A. Estos test son los correspondientes a los modelos MNL10-ptA y MNL10-ptB.

Model	Location	Coefficient 1	Coefficient 2	Covariance	t-test	Significance
MNL10-ptA	Nantes	$\beta_{ptA,2}$	$\beta_{ptA,3}$	0.00451	2.06	96.06%
	Valenciennes			0.319	3.04	99.76%
	Clermont-Ferrand			0.185	0.28	22.05%
	Lille			0.00216	0.41	31.82%
	A Coruña			0.00141	2.85	99.56%
	Vitoria-Gasteiz			0.00253	0.52	39.69%
MNL10-ptB	Nantes	$\beta_{ptB,2}$	$\beta_{ptB,3}$	0.00393	-0.45	34.73%
	Valenciennes			0.227	1.86	93.71%
	Clermont-Ferrand			0.191	-0.09	7.17%
	Lille			0.0032	-1.14	74.57%
	A Coruña			0.00184	2.44	98.53%
	Vitoria-Gasteiz			0.00297	0.06	4.78%

Tabla 5.92. Test de igualdad de parámetros para las categorías “A” y “B” del tipo de transporte público: escenario A

Mientras que los coeficientes de la “categoría A” ($\beta_{ptA,2}$ y $\beta_{ptA,3}$) que pueden considerarse como específicos son los correspondientes a las ciudades de Nantes, Valenciennes y A Coruña, los únicos coeficientes de la “categoría B” ($\beta_{ptB,2}$ y $\beta_{ptB,3}$) en los que sucede esto son los de la ciudad de A Coruña. Por lo tanto esta es la única de las ciudades estudiadas en la que se cumple esto para el escenario A, y por lo que el modelo MNL10 (en el que se consideran ambas categorías como específicas) es superior al modelo de referencia (véase anexo A20). También se aprecia en la tabla anterior que en la ciudad de Valenciennes la significación estadística es próxima al 95% para el test de igualdad de los parámetros de la “categoría B”, por lo que es la ciudad francesa más cercana a esta situación considerando modelos del escenario A.

En cuanto al escenario B puede apreciarse que en ninguna de las localizaciones estudiadas los coeficientes de la “categoría B” son candidatos a ser específicos. Esto se cumple en todos los modelos por PARES del tipo ptB derivados de los modelos de referencia.

Model	Location	Coefficient 1	Coefficient 2	Covariance	t-test	Significance
MNL13-ptB	Nantes	$\beta_{ptB,2}$	$\beta_{ptB,3}$	0.0898	0.17	13.50%
	Valenciennes			0.0814	1.64	89.90%
	Clermont-Ferrand			0.0898	0.17	13.50%
	Lille			0.0905	0.51	38.99%
	A Coruña			0.122	0.9	63.19%
	Vitoria-Gasteiz			0.102	-0.17	13.50%
NL13-ptB	Nantes	$\beta_{ptB,2}$	$\beta_{ptB,3}$	0.126	0.12	9.55%
	Valenciennes			0.0552	1.43	84.73%
	Clermont-Ferrand			0.126	0.12	9.55%
	Lille			0.124	0.2	15.85%
	A Coruña			0.13	-0.01	0.80%
	Vitoria-Gasteiz			0.173	-0.39	30.35%
ML13-ptB(EC)	Nantes	$\beta_{ptB,2}$	$\beta_{ptB,3}$	0.112	0.17	13.50%
	Valenciennes			0.0657	1.63	89.69%
	Clermont-Ferrand			0.0841	1.38	83.24%
	Lille			0.118	0.26	20.51%
	A Coruña			0.126	0.25	19.74%
	Vitoria-Gasteiz			0.0803	-0.7	51.61%

Tabla 5.93. Test de igualdad de parámetros para la “categoría B” del tipo de transporte público: escenario B

Sin embargo los test de igualdad de parámetros para la “categoría A” muestran resultados diferentes. En la siguiente tabla puede verse que los coeficientes de la ciudad de Nantes puede considerarse específicos para todos los modelos tipo ptA , mientras que esto solamente ocurre para 2 de los 3 modelos en las ciudades de Vitoria-Gasteiz y Clermont-Ferrand. Para el resto de los casos los parámetros $\beta_{ptA,2}$ y $\beta_{ptA,3}$ no pueden ser considerados como específicos.

Model	Location	Coefficient 1	Coefficient 2	Covariance	t-test	Significance
MNL13-ptA	Nantes	$\beta_{ptA,2}$	$\beta_{ptA,3}$	0.181	2.11	96.51%
	Valenciennes			0.204	-0.34	26.61%
	Clermont-Ferrand			0.181	2.11	96.51%
	Lille			0.162	0.83	59.35%
	A Coruña			0.178	0.87	61.57%
Vitoria-Gasteiz	0.172	-1.98	95.23%			
NL13-ptA	Nantes	$\beta_{ptA,2}$	$\beta_{ptA,3}$	0.27	2.02	95.66%
	Valenciennes			0.311	-0.46	35.45%
	Clermont-Ferrand			0.27	2.02	95.66%
	Lille			0.235	0.82	58.78%
	A Coruña			0.219	0.75	54.67%
Vitoria-Gasteiz	0.346	-1.35	82.30%			
ML13-ptA(EC)	Nantes	$\beta_{ptA,2}$	$\beta_{ptA,3}$	0.218	2	95.45%
	Valenciennes			0.23	-0.47	36.16%
	Clermont-Ferrand			0.228	-0.18	14.28%
	Lille			0.18	0.39	30.35%
	A Coruña			0.17	0.72	52.85%
Vitoria-Gasteiz	0.19	-2.05	95.96%			

Tabla 5.94. Test de igualdad de parámetros para la “categoría A” del tipo de transporte público: escenario B

Merece la pena destacar los resultados obtenidos en la ciudad de Nantes, en la que los coeficientes de la “categoría A” de transporte público son candidatos a ser específicos independientemente del escenario considerado, es decir, estando o no el coche disponible para el desplazamiento PD. Esto podría indicar que en Nantes se percibe de forma distinta la influencia de esta categoría, que resulta ser la “mejor” en lo que a calidad de servicio se refiere, en función de la alternativa de transporte público que presente estas características.

Por último se recuerda que aunque en algunos casos la especificación de este atributo o de alguna de sus categorías como específicas puede mejorar la capacidad explicativa del modelo de referencia respecto al fenómeno estudiado, se ha optado por mantener los modelos en los que se tratan estas categorías como genéricas debido a la definición del fenómeno rail factor y a que presentan consistencia teórica con el proceso de análisis seguido. Además, con esto se facilita la comparación entre los modelos pertenecientes a diferentes localizaciones, ya que como se ha visto en este apartado esta mejora de la capacidad explicativa solamente se observa en los modelos de algunas ciudades.

5.6.4. Variables de la encuesta PR

En líneas generales el atributo elección de modo PR tiene una capacidad explicativa sobre el fenómeno superior a la de la variable experiencia previa con la red de

transporte público PR. De hecho, la inmensa mayoría de los modelos en los que se introducen variables de la sección PR de la encuesta y son superiores a los de referencia, contienen la elección de modo PR como variable influyente.

En cuanto a la experiencia previa con la red de transporte público PR, generalizando, el hecho de ser usuario habitual de la red de transporte público PR favorece la elección de estas alternativas (escenario B, excepto en ciudades españolas para el experimento 1), y en particular favorece a la alternativa ferroviaria frente al autobús (escenario A). Para estudiar el efecto de la elección de modo PR debe particularizarse el análisis de los coeficientes correspondientes a las distintas categorías en función de los escenarios considerados. Generalizando, se extraen las siguientes conclusiones:

Escenario A

- No motorizado: favorece la elección de modo ferroviario frente al autobús.
- Privado: el signo varía con el experimento considerado. En general favorece más al modo ferroviario en modelos de Francia que en los modelos de España.
- Transporte público sobre neumáticos: los encuestados que declaran que su desplazamiento PR se hizo en este tipo de transporte son más proclives, en general, a volver a elegirlo para el ejercicio PD.
- Transporte público ferroviario: como sucede con el coeficiente anterior, el haber elegido alternativa ferroviaria en el desplazamiento PR favorece la elección de esta misma alternativa para el ejercicio PD, aunque en este caso el efecto es menos marcado (sobre todo en modelos del escenario A, en los que en algunos casos el valor de $\beta_{ch4,3}$ es próximo a cero o incluso negativo).

Escenario B

En este caso se analizan los resultados obtenidos en los modelos ML(EC) con coeficientes específicos para este atributo.

- No motorizado: favorece la elección de transporte público (excepto para el autobús en el experimento 2 en A Coruña ($\beta_{ch1,2}$), y para las 2 alternativas de transporte público en Valenciennes en el experimento 1), y en particular, a la elección de modo ferroviario frente a autobús, tal y como sucedía en el escenario anterior (excepto en el experimento 2 en Valenciennes y Clermont-Ferrand).

Model ML10-chS(EC)	Nantes		Valenciennes		Clermont-Ferrand		Lille		A Coruña		Vitoria-Gasteiz	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	0.857	0.91	0.301	0.28	-1.96	-1.8	0.782	1.36	-0.144	-0.12	-0.784	-1.26
ASC3	0.699	0.76	0.69	0.64	-1.74	-1.59	0.507	0.88	-1.3	-0.99	-1.23	-1.98
$\beta t,1$	-0.189	-6.23	-0.176	-5.34	-0.206	-6.62	-0.158	-9.11	-0.135	-9.89	-0.104	-5.33
$\beta t,pt$	-0.191	-11.9	-0.162	-8.57	-0.184	-10.3	-0.16	-16.6	-0.137	-16.2	-0.1	-9.56
$\beta c,1$	-0.959	-7.9	-0.992	-7.27	-0.835	-6.79	-0.969	-13.2	-1.15	-14.5	-0.999	-9
$\beta c,pt$	-0.837	-2.75	-2.39	-6.06	-0.902	-2.56	-1.45	-7.16	-1.7	-7.52	-1.13	-4.79
βf	-0.0824	-3.21	-0.0326	-1.19	-0.0634	-2.39	-0.0811	-5.61	-0.0676	-4.71	-0.0403	-2.29
* $\beta nt0$	0.56202	-	0.559	-	0.718	-	0.4641	-	0.40776	-	0.4287	-
$\beta nt1$	-0.002	-0.02	-0.117	-0.84	0.105	0.79	0.0469	0.64	-0.0018	-0.03	-0.0267	-0.31
$\beta nt2$	-0.56	-4.39	-0.442	-2.88	-0.823	-5.31	-0.511	-6.38	-0.406	-5.55	-0.402	-4.32
* $\beta ch1,2$	0.8444	-	0.84	-	1.378	-	0.792	-	-0.328	-	0.364	-
$\beta ch2,2$	-1.04	-2.44	-2.34	-3.32	-1.92	-2.35	-1.56	-4	-0.889	-0.75	-1.26	-2.5
$\beta ch3,2$	-0.0804	-0.21	0	-	-0.618	-0.49	0.215	0.4	0.417	0.36	1.34	2.94
$\beta ch4,2$	0.276	0.6	1.5	2.23	1.16	1.17	0.553	1.8	0.8	0.22	-0.444	-0.77
* $\beta ch1,3$	0.9724	-	0.75	-	1.057	-	1.031	-	1.295	-	0.568	-
$\beta ch2,3$	-1.12	-2.49	-1.82	-2.66	-2.09	-2.56	-1.46	-3.71	-0.892	-0.7	-1.44	-2.79
$\beta ch3,3$	0.0406	0.1	0	-	-0.907	-0.69	-0.711	-1.26	0.727	0.58	1.25	2.7
$\beta ch4,3$	0.107	0.22	1.07	1.61	1.94	1.98	1.14	3.62	-1.13	-0.3	-0.378	-0.65
opt	1.38	5.63	3.06	6.04	2.92	6.58	2.05	10.38	1.98	12.35	2.42	8.52
ECpt	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Halton draws	1000		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	16		14		16		16		16		16	
N observations	522		476		570		1359		1974		919	
n individuals	59		54		64		154		226		105	
Init log-likelihood	-570.494		-441.729		-520.196		-1374.246		-1815.458		-856.132	
Final log-likelihood	-343.264		-283.511		-324.317		-940.832		-1240.365		-656.302	
Adjusted rho-square	0.374		0.431		0.457		0.359		0.421		0.334	
Likelihood ratio test:	ML10(EC)/ML10-chS(EC)	ML10(EC)/ML10-chS(EC)	ML10(EC)/ML10-chS(EC)	ML10(EC)/ML10-chS(EC)	ML10(EC)/ML10-chS(EC)	ML10(EC)/ML10-chS(EC)	ML10(EC)/ML10-chS(EC)	ML10(EC)/ML10-chS(EC)	ML10(EC)/ML10-chS(EC)	ML10(EC)/ML10-chS(EC)	ML10(EC)/ML10-chS(EC)	ML10(EC)/ML10-chS(EC)
-2 (LL(Br)-LL(β))	10.418		13.848		18.116		44.886		30.346		14.966	
d.f.	6		4		6		6		6		6	
LRT I.v. (95%)	12.59159		9.48773		12.59159		12.59159		12.59159		12.59159	
LR (ML10-MLi)	89.19%		99.22%		99.41%		100.00%		100.00%		97.95%	

Tabla 5.95. Modelos ML10-chS(EC) para las distintas localizaciones: Exp.2 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

- Privado: los coeficientes son siempre menores que cero (excepto para el modo ferroviario en Clermont-Ferrand ($\beta ch2,3$), experimento 2), lo que puede indicar que la elección de coche para el desplazamiento PR penaliza las opciones de transporte público en el ejercicio PD. Sin embargo, el que se penalice más al autobús o al modo ferroviario depende fuertemente de la localización. En general, en las ciudades españolas estudiadas penaliza más al modo ferroviario (excepto en Vitoria-Gasteiz, experimento 1), mientras que en las ciudades francesas la tendencia es distinta en función del experimento.
- Transporte público sobre neumáticos: el coeficiente correspondientes a esta categoría es casi siempre positivo, es decir, favorece a las alternativas del transporte público (salvo en el caso de Clermont-Ferrand, en el que tanto $\beta ch3,2$ como $\beta ch3,3$ son negativos en ambos experimentos). En líneas generales se favorece en mayor medida la elección de autobús frente al modo

ferroviario. Merece la pena destacar que, dado que no se tienen observaciones de encuestados que eligieran esta alternativa en el desplazamiento PR en la ciudad de Valenciennes, no es posible estimar sus efectos sobre la elección para el caso del experimento 2.

Model ML13-chS(EC)	Nantes		Valenciennes		Clermont-Ferrand		Lille		A Coruña		Vitoria-Gasteiz	
Coefficient	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	-0.208	-0.29	-1.2	-1.16	-0.369	-0.4	0.072	0.12	-0.274	-0.44	-1.77	-2.64
ASC3	-0.0726	-0.1	-1.01	-0.96	-4.44	-0.01	0.288	0.48	-1.14	-1.75	-2.16	-3.23
$\beta t,1$	-0.143	-6.45	-0.157	-5.95	-0.169	-6.98	-0.152	-8.83	-0.154	-10.9	-0.12	-5.99
$\beta t,pt$	-0.145	-11.6	-0.18	-10.2	-0.163	-11.4	-0.164	-16	-0.132	-15.6	-0.114	-9.95
$\beta c,1$	-0.722	-7.97	-0.749	-6.75	-0.675	-6.98	-0.845	-11.6	-0.993	-12.6	-1.11	-9.32
$\beta c,pt$	-0.663	-2.6	-0.842	-2.68	-1.47	-5.54	-1.39	-6.67	-1.79	-7.89	-1.03	-4.1
βf	-0.0316	-1.61	0.0235	0.89	-0.0344	-1.57	-0.047	-3.11	-0.0408	-2.8	-0.0098	-0.51
* $\beta nt0$	0.577	-	0.3906	-	0.483	-	0.4811	-	0.2928	-	0.64282	-
$\beta nt1$	-0.136	-1.34	0.0654	0.49	-0.136	-1.23	0.0169	0.22	0.0842	1.23	0.00918	0.1
$\beta nt2$	-0.441	-4.25	-0.456	-3.24	-0.347	-3.06	-0.498	-5.94	-0.377	-5.2	-0.652	-6.11
$\beta ptA,pt$	0.656	5.59	0.661	4.3	0.465	3.65	0.453	5.13	0.366	4.7	0.556	4.94
$\beta ptB,pt$	-0.157	-1.38	-0.153	-1.04	-0.027	-0.23	0.0825	0.94	-0.0562	-0.72	-0.185	-1.68
* $\beta ptC,pt$	-0.499	-	-0.508	-	-0.438	-	-0.5355	-	-0.3098	-	-0.371	-
* $\beta ch1,2$	0.49	-	-1.425	-	1.31	-	0.078	-	1.06479	-	0.876	-
$\beta ch2,2$	-1.69	-3.61	-0.888	-1.23	-1.34	-1.96	-1.35	-3.03	-1.56	-3.28	-1.14	-2.21
$\beta ch3,2$	0.385	1	1.65	0.92	-1.18	-0.78	0.172	0.27	0.491	1.07	0.155	0.29
$\beta ch4,2$	0.815	1.57	0.663	0.9	1.21	1.71	1.1	3.1	0.00421	0	0.109	0.14
* $\beta ch1,3$	0.5114	-	-0.685	-	6.04	-	0.821	-	1.092	-	1.03468	-
$\beta ch2,3$	-1.54	-3.37	-1.46	-1.95	3.63	0	-1.88	-4.16	-1.1	-2.09	-1.56	-2.89
$\beta ch3,3$	-0.0814	-0.21	0.885	0.47	-15.5	-0.01	0.075	0.12	0.444	0.87	0.529	0.99
$\beta ch4,3$	1.11	2.15	1.26	1.67	5.83	0.01	0.984	2.79	-0.436	-0.33	-0.0037	0
opt	1.76	7.33	2.13	6.92	2.32	7.75	2.31	10.45	1.94	12.26	2.49	8.4
ECpt	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
Halton draws	1000		1000		1000		1000		1000		1000	
K parameters	18		18		18		18		18		18	
N observations	679		594		727		1319		1910		902	
n individuals	77		68		83		150		219		104	
Init log-likelihood	-692.837		-539.182		-703.988		-1282.19		-1751.027		-817.522	
Final log-likelihood	-510.771		-355.805		-483.03		-895.118		-1216.978		-595.765	
Adjusted rho-square	0.291		0.427		0.373		0.37		0.411		0.381	
Likelihood ratio test:	ML13(EC)/ML13-chS(EC)	ML13(EC)/ML13-chS(EC)	ML13(EC)/ML13-chS(EC)	ML13(EC)/ML13-chS(EC)	ML13(EC)/ML13-chS(EC)	ML13(EC)/ML13-chS(EC)	ML13(EC)/ML13-chS(EC)	ML13(EC)/ML13-chS(EC)	ML13(EC)/ML13-chS(EC)	ML13(EC)/ML13-chS(EC)	ML13(EC)/ML13-chS(EC)	ML13(EC)/ML13-chS(EC)
-2 (LL(β_r)-LL(β))	18.966		24.122		25.92		35.12		42.77		15.088	
d.f.	6		6		6		6		6		6	
LRT l.v. (95%)	12.59159		12.59159		12.59159		12.59159		12.59159		12.59159	
LR (ML13-MLi)	99.58%		99.95%		99.98%		100.00%		100.00%		98.04%	

Tabla 5.96. Modelos ML13-chS(EC) para las distintas localizaciones: Exp.1 / Esc. B

* Aportación del nivel de referencia a la/s función/es de utilidad, obtenida siguiendo la definición de codificación *effects*

- Transporte público ferroviario: para las localizaciones francesas el valor de los coeficientes favorece la elección del modo ferroviario frente al autobús, siendo

además positivos, por lo que penaliza la elección de coche. En el caso de las ciudades españolas depende fuertemente del contexto estudiado: mientras que el haber elegido esta alternativa en el desplazamiento PR suele penalizar su elección en el ejercicio PD ($\beta_{ch4,3} < 0$), en los usuarios de modo ferroviario PR el coeficiente suele favorecer la elección de autobús ($\beta_{ch4,2} > 0$).

Para finalizar, los modelos pertenecientes al experimento 2 en los que se especifican los coeficientes de la elección de modo PR como específicos son superiores a los que tienen coeficientes genéricos. Sin embargo, cuando se tiene en cuenta el atributo tipo de transporte público (experimento 1) esto depende de la localización estudiada (véanse anexos del A16 al A21).

5.6.5. Casos particulares

Etiqueta “metro ligero” en A Coruña

El hecho de haber cambiado la etiqueta del modo ferroviario en una segunda encuesta complementaria (de “tranvía” a “metro ligero”), sin realizar ningún cambio adicional en el valor de los atributos influyentes en el ejercicio de elección, ha supuesto que en general los encuestados en la segunda muestra consideren más atractiva la opción ferroviaria. Un claro indicador de esta tendencia es el hecho de que la probabilidad de elección del modo ferroviario en igualdad de condiciones con el autobús, aumenta del orden de un 8-9 % para la encuesta complementaria (etiqueta “metro ligero”).

Existencia de un modo de transporte que emplea plataforma independiente

La presencia del VAL en Lille tiene como consecuencia que los encuestados de esta ciudad tengan una mejor opinión de los modos ferroviarios que los encuestados del resto de las ciudades francesas.

En la elección autobús frente a modo ferroviario (escenario A), los usuarios que eligen VAL en su desplazamiento PR son incluso más proclives a elegir el modo ferroviario PD que los encuestados que eligieron LRT.

Cuando se introduce la alternativa coche como disponible (escenario B) sucede lo contrario, y los usuarios de LRT son más favorables al modo ferroviario PD que los usuarios de VAL. Esto puede ser debido a las características particulares de los desplazamientos realizados por los usuarios del VAL: la longitud de la ruta, el tiempo

de viaje, la ubicación del origen, etc., aspectos que pueden facilitar que parte de esos usuarios que eligieron el VAL para su desplazamiento PR prefieran el coche para sus desplazamientos habituales.

CAPÍTULO 6

Análisis del reparto modal obtenido

6.1. Introducción

En este capítulo se analiza el reparto modal obtenido mediante una serie de procedimientos como parte del estudio de la existencia y valoración del *rail factor*. También se pone de manifiesto la importancia del contexto en la percepción que tienen los usuarios de la red de transporte y en el reparto modal, y además se analiza cómo afecta la tipología de modelo empleado a los resultados obtenidos en la predicción de la demanda.

Las localizaciones consideradas son de nuevo las ciudades de tamaño intermedio de Nantes y Vitoria-Gasteiz, siendo 3 los modelos tomados como referencia. Estos se encuadran en la especificación 13, y por tanto corresponden al experimento 1 y al escenario B del ejercicio de elección PD (véase justificación en apartado 5.5.3.).

Por último, se incluyen en el análisis algunos indicadores de la calidad explicativa de los modelos (como por ejemplo el *First Preference Recovery*), así como de la forma en que afecta la variación de alguno de los atributos influyentes en el reparto modal obtenido (como la elasticidad o la variación relativa de la demanda).

El capítulo 6 se organiza de la siguiente forma: en primer lugar se describen los modelos empleados para la obtención del reparto modal mediante los diferentes procedimientos seguidos. Posteriormente se analizan los resultados del reparto modal obtenidos mediante el procedimiento de enumeración muestral. A continuación se obtiene la probabilidad de elección para un único individuo tipo, considerando diferentes políticas que afectan a los atributos implicados en el proceso de elección. En quinto lugar se simula una población sometida a diferentes escenarios en los que se plantea la implantación de un SCI, mediante 2 enfoques posibles (uno puramente teórico y otro que se corresponde en mayor medida con los casos reales). Para finalizar se muestra un resumen de las principales conclusiones.

En el presente capítulo se abordan cuestiones relacionadas con las siguientes preguntas desagregadas de la investigación:

- ¿Cómo afecta el contexto del proyecto al *rail factor*?
- ¿Cuál es la influencia en el *rail factor* de atributos característicos del transporte público tales como el grado de plataforma reservada, la información suministrada a los usuarios y la fiabilidad en los horarios?
- ¿Cómo afecta el *rail factor* a la capacidad de captación de viajeros no cautivos?

6.2. Modelos considerados en el reparto modal

En la simulación de una población enfrentada a diferentes situaciones que se darían en la hipotética implantación de un SCI (ya sea un BHLS o un LRT), o simplemente en la obtención del reparto modal dada una variación de las condiciones en un escenario considerado como base, se han empleado los modelos denominados como MNL13, ML13(EC) y ML13-t1,pt(RC). Estos modelos corresponden al logit multinomial, al logit mixto con componentes de error para representar la correlación entre modos de transporte público, y al logit mixto que considera los coeficientes del tiempo en coche y en transporte público aleatoriamente distribuidos en la población, respectivamente.

Model	MNL13 Nantes		MNL13 Vitoria-Gasteiz		ML13(EC) Nantes		ML13(EC) Vitoria-Gasteiz		ML13-t1,pt(RC) Nantes		ML13-t1,pt(RC) Vitoria-Gasteiz	
	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test	Value	t-test
Coefficient												
ASC1	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
ASC2	0.656	1.16	-0.373	-0.84	-0.159	-0.22	-1.75	-2.71	0.176	0.23	-0.478	-0.74
ASC3	0.688	1.22	-0.636	-1.44	-0.109	-0.15	-2.05	-3.17	0.253	0.34	-0.857	-1.33
$\beta t,1$	-0.0911	-5.47	-0.0701	-4.98	-0.142	-6.44	-0.121	-6.04	-0.148	-5.45	-0.105	-4.21
$\beta t,pt$	-0.121	-11.4	-0.0896	-9.31	-0.145	-11.8	-0.114	-9.93	-0.176	-9.82	-0.158	-6.88
$\beta c,1$	-0.485	-7.13	-0.659	-8.03	-0.723	-8	-1.1	-9.3	-0.725	-7.82	-1.16	-9.21
$\beta c,pt$	-0.616	-2.82	-0.805	-3.98	-0.646	-2.54	-1.02	-4.05	-0.645	-2.44	-0.977	-3.68
βf	-0.0348	-1.88	-0.0206	-1.18	-0.0296	-1.52	-0.0109	-0.57	-0.0309	-1.52	-0.0173	-0.84
$\beta nt0$	0.473	-	0.5312	-	0.573	-	0.64634	-	0.529	-	0.67182	-
$\beta nt1$	-0.137	-1.47	-0.0292	-0.34	-0.135	-1.33	0.00566	0.06	-0.14	-1.33	0.00818	0.08
$\beta nt2$	-0.336	-3.55	-0.502	-5.24	-0.438	-4.24	-0.652	-6.12	-0.389	-3.68	-0.68	-6.07
$\beta ptA,pt$	0.501	4.99	0.379	4.07	0.656	5.62	0.549	4.92	0.654	5.46	0.646	5.3
$\beta ptB,pt$	-0.169	-1.67	-0.157	-1.67	-0.16	-1.42	-0.188	-1.72	-0.18	-1.48	-0.257	-2.06
$\beta ptC,pt$	-0.332	-	-0.222	-	-0.496	-	-0.361	-	-0.474	-	-0.389	-
σt					1.99	7.62	2.66	8.5				
ECpt					0	-	0	-				
$\sigma t1$									-0.103	-3.59	-0.15	-4.41
σtpt									-0.0864	-4.39	-0.108	-3.97
Halton draws					1000		1000		1000		1000	
K parameters	11		11		12		12		13		13	
N observations	679		902		679		902		679		902	
n individuals	679		902		77		104		77		104	
Init log-likelihood	-745.958		-990.948		-692.837		-817.522		-836.031		-976.185	
Final log-likelihood	-589.813		-740.225		-520.254		-603.309		-512.491		-586.647	
Adjusted rho-square	0.195		0.242		0.286		0.379		0.296		0.395	

Tabla 6.1. Modelos MNL y ML empleados en el análisis del reparto modal obtenido (Nantes y Vitoria-Gasteiz)

Se ha mantenido en el desarrollo del capítulo la exposición de resultados con los 3 modelos con el fin de apreciar las diferencias según el enfoque empleado en cada caso. En este sentido, los comentarios relativos a los resultados se expresarán en rangos en función del modelo empleado.

También merece la pena destacar que, tal y como se menciona en el capítulo anterior, en el procedimiento de estimación no se han encontrado mejoras significativas en estimaciones que tienen en cuenta características socioeconómicas tales como la edad, el nivel de gasto neto mensual, etc. Esto puede ser debido a la homogeneidad que presentan estas variables en la población (estudiantes universitarios), tal y como puede apreciarse en el capítulo 4.

6.3. Enumeración muestral

Con este método de agregación se obtiene directamente la proporción de encuestados que elige cada una de las alternativas de transporte para las localizaciones consideradas. Por lo tanto, no se trata de una simulación de los valores de los atributos asociados a cada usuario de una población, sino que se aplican directamente los modelos sobre los valores de los atributos de los individuos de la muestra.

La proporción por modo de transporte se obtienen a partir de las probabilidades de elección de cada una de las alternativas para cada encuestado. Estas probabilidades, junto a la elección de modo en el ejercicio PD, suponen la información necesaria para hallar diferentes indicadores de la capacidad explicativa que tienen los modelos sobre la variabilidad expresada por los datos de partida.

6.3.1. First Preference Recovery, Chance Recovery & Expected Recovery

Además de estas proporciones por modo de transporte asociadas a las muestras recogidas, se analiza en este apartado la validez de los modelos empleados en relación a los valores del porcentaje correctamente predicho o FPR (*First Preference Recovery*). Esta es una medida agregada en la que se mide simplemente el número o proporción de individuos que efectivamente escoge la opción de máxima utilidad representativa (V_{jq}) de acuerdo con el modelo. Es una medida que se obtiene

fácilmente y que puede compararse con la proporción al azar, CR (*Chance Recovery*), que proviene del modelo equiprobable y que tiene la siguiente expresión:

$$CR = \frac{\sum_q (1/M_q)}{Q} \quad (6.1)$$

donde:

M_q es el conjunto de alternativas disponibles para el individuo q .

Q es el número total de individuos que conforman la muestra.

Si todos los individuos tienen el mismo conjunto de alternativas disponibles (M), el valor de CR es igual a $1/M$.

Existen algunos problemas asociados a los valores del FPR, como por ejemplo, que los modelos con valores muy bajos o muy altos de FPR deberían rechazarse por igual, o también que un valor de FPR de 55% puede ser bueno en general, pero no para un caso binario. Por tanto, un análisis directo de este valor o su comparación con el CR no son garantía de obtener un modelo que realice predicciones fiables (Ortúzar & Willumsen, 2011, p. 283).

Por ello se define un nuevo índice que puede compararse con el FPR, y que proporciona información valiosa acerca de la capacidad explicativa del modelo. Este índice representa el valor esperado del FPR y es conocido como *Expected Recovery* (ER).

$$ER = \sum_q P_q \quad (6.2)$$

donde P_q se refiere a la probabilidad de elección calculada correspondiente a la mejor opción para el individuo q (es decir, la de mayor probabilidad de elección según el modelo).

Así, y en función de los valores de los índices FPR, ER y CR, pueden realizarse las siguientes afirmaciones (Ortúzar & Willumsen, 2011, p. 284):

- Si los valores asociados a los 3 índices son relativamente parecidos (dadas sus varianzas), el modelo es razonable pero poco informativo.

- Si los valores de FPR y ER son similares, y mayores que el de CR, el modelo es razonable e informativo.
- Si los valores de FPR y ER no son similares, el modelo no explica la variación de los datos (y por tanto debe rechazarse en cualquier caso).

6.3.2. Resultados obtenidos con 3 alternativas disponibles

En primer lugar se muestran los resultados obtenidos mediante el procedimiento de enumeración muestral cuando se consideran las 3 alternativas de transporte (coche, autobús y modo ferroviario) como disponibles. Los resultados porcentuales comentados se expresan mediante rangos en algunos casos, puesto que se obtienen diferentes valores del reparto en función de cada uno de los 3 modelos considerados.

<i>Model</i>	<i>P_{car}</i>	<i>P_{bus-based}</i>	<i>P_{rail-based}</i>	<i>FPR</i>	<i>ER</i>	<i>CR</i>
MNL13	44.33%	27.39%	28.28%	424 (62.44%)	416.5	226.3
ML13(EC)	44.93%	27.21%	27.87%	424 (62.44%)	412.6	226.3
ML13-t1,pt(RC)	45.27%	26.68%	28.05%	424 (62.44%)	408.9	226.3

Tabla 6.2. Enumeración muestral con 3 alternativas disponibles: Nantes

<i>Model</i>	<i>P_{car}</i>	<i>P_{bus-based}</i>	<i>P_{rail-based}</i>	<i>FPR</i>	<i>ER</i>	<i>CR</i>
MNL13	60.42%	22.17%	17.41%	550 (60.98%)	558.2	300.7
ML13(EC)	61.12%	21.76%	17.12%	553 (61.31%)	556.8	300.7
ML13-t1,pt(RC)	55.74%	25.09%	19.18%	558 (61.86%)	530.6	300.7

Tabla 6.3. Enumeración muestral con 3 alternativas disponibles: Vitoria-Gasteiz

En ambas localizaciones se aprecia que los valores del FPR están en torno al 61-62%. Además, los valores del FPR y del ER son similares y a su vez superiores a los del CR, por lo que puede afirmarse que los modelos son razonables e informativos. Así pues, estos modelos poseen una capacidad explicativa adecuada sobre las variaciones de los datos pertenecientes a la muestra.

En lo referente a los modos de transporte público se observa que en Nantes apenas existe diferencia entre el porcentaje de usuarios del sistema basado en el autobús y el de usuarios del sistema ferroviario, siendo ligeramente superior este último. Sin embargo esta diferencia es mayor en Vitoria-Gasteiz, siendo además el porcentaje de

usuarios del sistema basado en el autobús mayor que el de usuarios del sistema ferroviario, por lo que se presenta una tendencia diferente a la del caso anterior.

Por otro lado la probabilidad de elegir la alternativa coche es el orden de un 10-15% superior en la ciudad de Vitoria-Gasteiz respecto a Nantes. Esto evidencia la importancia del contexto estudiado a la hora de analizar la elección modal.

Por último, si se analizan las diferencias en los resultados obtenidos mediante los distintos modelos se observa que aunque la probabilidad de elegir coche es similar para los modelos MNL13 y ML13(EC), el porcentaje conjunto para las alternativas de transporte público es ligeramente inferior en el último caso. Esto es coherente con el hecho de que tanto estas alternativas como las respuestas de un mismo individuo estén correlacionadas. Analizando los resultados del modelo ML13-t1,pt(RC) puede verse que el porcentaje de elección obtenido para el coche es inferior respecto al de los modelos anteriores. Mientras que en Nantes este efecto es pequeño, en Vitoria-Gasteiz es más marcado, siendo esta diferencia del orden de un 5%.

Cabe destacar que el modelo ML13-t1,pt(RC) es el considerado como el que mejor representa el fenómeno estudiado en el experimento 1 y escenario B, dado que mediante el mismo se obtuvieron mejores valores de la log-verosimilitud, bondad de ajuste y debido a los resultados en los test de hipótesis no jerarquizadas, respecto a los modelos ML13(EC) y MNL13. El modelo ML13(EC) también se mantiene en este capítulo puesto que se ha mostrado como un modelo superior al NL cuando se considera el escenario B. Además de permitir la correlación entre alternativas también se tiene en cuenta el efecto de que distintas observaciones pertenezcan a un mismo individuo (datos de panel), y resulta interesante comparar las diferencias obtenidas con modelos que presentan estructuras de error diferentes.

Para consultar más información respecto a los modelos elegidos para analizar el reparto modal obtenido véase el capítulo 5.

6.3.3. Resultados obtenidos con 2 alternativas disponibles

A continuación se plantea el procedimiento de enumeración muestral teniendo en cuenta como alternativas disponibles el coche y una sola alternativa de transporte

público en cada ocasión, es decir, se restringe como no disponible el autobús y el modo ferroviario en 2 procesos independientes.

Estas situaciones se asemejan más a la situación tipo que se analiza en la presente investigación, en la que se pasa de un sistema de autobuses convencional a un SCI (ya sea BHLS o LRT), con el coche como alternativa disponible y principal competidora en el reparto modal del grueso de los desplazamientos. En las siguientes tablas se muestran los resultados para el caso de Nantes:

<i>Model</i>	P_{car}	$P_{bus-based}$	<i>FPR</i>	<i>ER</i>	<i>CR</i>
MNL13	61.66%	38.34%	368 (75.56%)	360.5	243.5
ML13(EC)	58.11%	41.89%	364 (74.74%)	343.7	243.5
ML13-t1,pt(RC)	57.95%	42.05%	364 (74.74%)	342.3	243.5

Tabla 6.4. Resultados de la enumeración muestral para Nantes con 2 alternativas disponibles: coche frente a autobús

<i>Model</i>	P_{car}	$P_{rail-based}$	<i>FPR</i>	<i>ER</i>	<i>CR</i>
MNL13	60.48%	39.52%	358 (72.62%)	363.6	246.5
ML13(EC)	56.96%	43.04%	357 (72.41%)	347.5	246.5
ML13-t1,pt(RC)	56.55%	43.45%	357 (72.41%)	344.3	246.5

Tabla 6.5. Resultados de la enumeración muestral para Nantes con 2 alternativas disponibles: coche frente a modo ferroviario

Análogamente, los resultados para la ciudad de Vitoria-Gasteiz son los siguientes:

<i>Model</i>	P_{car}	$P_{bus-based}$	<i>FPR</i>	<i>ER</i>	<i>CR</i>
MNL13	72.54%	27.46%	545 (73.15%)	554.3	372.5
ML13(EC)	69.02%	30.98%	542 (72.75%)	523.5	372.5
ML13-t1,pt(RC)	63.99%	36.01%	541 (72.62%)	509.3	372.5

Tabla 6.6. Resultados de la enumeración muestral para Vitoria-Gasteiz con 2 alternativas disponibles: coche frente a autobús

<i>Model</i>	P_{car}	$P_{rail-based}$	<i>FPR</i>	<i>ER</i>	<i>CR</i>
MNL13	77.30%	22.70%	550 (78.35%)	542.7	351
ML13(EC)	72.24%	27.76%	553 (78.77%)	510.8	351
ML13-t1,pt(RC)	67.84%	32.16%	528 (75.21%)	494.5	351

Tabla 6.7. Resultados de la enumeración muestral para Vitoria-Gasteiz con 2 alternativas disponibles: coche frente a modo ferroviario

Las diferencias en los resultados entre las 2 ciudades siguen en este caso una tendencia similar a la de los resultados obtenidos considerando las 3 alternativas disponibles, es decir, la probabilidad de elegir coche es mayor que la de elegir un modo de transporte público siendo este efecto más marcado en Vitoria-Gasteiz. Además, se aprecia una diferencia de un 11-18% más usuarios de coche respecto a cuándo se consideran las 3 alternativas como disponibles. De nuevo, en Nantes la probabilidad de elegir el modo ferroviario es sensiblemente mayor que la de elegir autobús (1-1.5%) mientras que en Vitoria-Gasteiz sucede lo contrario, es decir, la diferencia es favorable al autobús (3-5%).

Atendiendo a las diferencias observadas entre los distintos modelos, en este caso la probabilidad de elegir coche es mayor en el modelo MNL13. De hecho, la proporción en la que disminuye esta probabilidad en favor del transporte público es similar en ambas ciudades (4% en Nantes y 5% en Vitoria-Gasteiz). En cualquier caso, los modelos con especificaciones del tipo ML siguen considerándose como los más adecuados (en concreto el modelo ML13-t1,pt(RC), correspondiente a la especificación como coeficientes aleatorios).

6.4. Probabilidad de elección para un individuo tipo

A continuación se calcula la probabilidad de elección de las distintas alternativas para un individuo tipo hipotético, que se enfrenta a los niveles intermedios de los atributos del ejercicio de elección PD. De nuevo se tienen en cuenta los casos en los que se consideran 3 alternativas y 2 alternativas como disponibles, de forma independiente.

Posteriormente se plantean variaciones sobre ciertos atributos con el objetivo de calcular la elasticidad de la demanda respecto a los mismos, así como la variación relativa de la demanda obtenida bajo esas hipótesis. Estas políticas se corresponden con el enfoque teórico adoptado en la simulación (recogido en el apartado 6.5.), y son las siguientes:

- Situación inicial:
No se trata de una política en sí misma, sino que se toma como situación de referencia. Se consideran los valores de los niveles intermedios para los atributos de todas las alternativas.

- **Política 1:**
Corresponde a una variación del atributo tipo de transporte público. En esta política se consideran 2 posibilidades: en primer lugar el valor de este atributo pasa a la “categoría A” de transporte público, mientras que en segundo lugar este valor pasa a la “categoría C”. Estas sub-políticas se denominan respectivamente 1.1 y 1.2.
- **Política 2:**
Se consideran variaciones sobre los *hard factors* de las alternativas de transporte público, es decir, el tiempo y el coste. En la sub-política 2.1 se considera una disminución del valor del tiempo total de viaje en transporte público de un 20%, mientras que en la sub-política 2.2 se reduce el coste del transporte público en un 25%.
- **Política 3:**
En este caso se actúa sobre el coste de aparcamiento para el coche. En una primera sub-política se incrementa el mismo en 1€, mientras que en la segunda se aumenta en función del valor intermedio tomado como referencia, siendo el incremento de 1.5€ si el valor de referencia es menor o igual 2.5€, y de 0.5€ si este valor es mayor que 2.5€.

Puede apreciarse que todas las medidas consideradas están destinadas inicialmente a favorecer el uso del transporte público, a excepción de la sub-política 1.2.

6.4.1. Probabilidad de elección con 3 alternativas disponibles

En las siguientes tablas pueden verse los resultados obtenidos tanto para la situación inicial como tras la aplicación de las diferentes políticas consideradas.

<i>Location</i>	<i>Initial situation</i>					
	<i>Nantes</i>			<i>Vitoria-Gasteiz</i>		
	<i>P_{car}</i>	<i>P_{bus-based}</i>	<i>P_{rail-based}</i>	<i>P_{car}</i>	<i>P_{bus-based}</i>	<i>P_{rail-based}</i>
MNL13	60.43%	19.47%	20.10%	72.42%	15.59%	11.98%
ML13(EC)	57.15%	20.89%	21.96%	69.42%	17.53%	13.05%
ML13-t _{1,pt} (RC)	57.39%	20.48%	22.13%	65.48%	20.50%	14.03%

Tabla 6.8. Probabilidad de elección para un individuo tipo con 3 alternativas disponibles: situación inicial

Policy 1.1 (Category A, public transport)

Location	Nantes		Vitoria-Gasteiz		
	Model	P_{bus-based}	P_{rail-based}	P_{bus-based}	P_{rail-based}
MNL13		27.62% (+8.1%)	28.50% (+8.4%)	22.28% (+6.7%)	17.12% (+5.1%)
ML13(EC)		26.92% (+6.0%)	28.31% (+6.3%)	22.43% (+4.9%)	16.70% (+3.6%)
ML13-t _{1,pt} (RC)		26.16% (+5.7%)	28.26% (+6.1%)	26.62% (+6.1%)	18.22% (+4.2%)

Tabla 6.9. Probabilidad de elección para un individuo tipo con 3 alternativas disponibles: categoría A de transporte público

Policy 1.2 (Category C, public transport)

Location	Nantes		Vitoria-Gasteiz		
	Model	P_{bus-based}	P_{rail-based}	P_{bus-based}	P_{rail-based}
MNL13		17.59% (-1.9%)	18.15% (-1.9%)	14.87% (-0.7%)	11.42% (-0.6%)
ML13(EC)		18.47% (-2.4%)	19.42% (-2.5%)	16.45% (-1.1%)	12.24% (-0.8%)
ML13-t _{1,pt} (RC)		18.49% (-2.0%)	19.98% (-2.1%)	19.64% (-0.9%)	13.44% (-0.6%)

Tabla 6.10. Probabilidad de elección para un individuo tipo con 3 alternativas disponibles: categoría C de transporte público

Policy 2.1 (-20% time, public transport)

Location	Nantes		Vitoria-Gasteiz		
	Model	P_{bus-based}	P_{rail-based}	P_{bus-based}	P_{rail-based}
MNL13		26.24% (+6.8%)	27.08% (+7.0%)	20.64% (+5.0%)	15.86% (+3.9%)
ML13(EC)		25.82% (+4.9%)	27.15% (+5.2%)	20.96% (+3.4%)	15.60% (+2.6%)
ML13-t _{1,pt} (RC)		25.86% (+5.4%)	27.94% (+5.8%)	24.82% (+4.3%)	16.98% (+3.0%)

Tabla 6.11. Probabilidad de elección para un individuo tipo con 3 alternativas disponibles: disminución del 20% en el tiempo de viaje para el transporte público

Policy 2.2 (-25% fare, public transport)

Location	Nantes		Vitoria-Gasteiz		
	Model	P_{bus-based}	P_{rail-based}	P_{bus-based}	P_{rail-based}
MNL13		22.06% (+2.6%)	22.77% (+2.7%)	17.97% (+2.4%)	13.80% (+1.8%)
ML13(EC)		22.55% (+1.7%)	23.71% (+1.7%)	19.17% (+1.6%)	14.27% (+1.2%)
ML13-t _{1,pt} (RC)		22.03% (+1.5%)	23.80% (+1.7%)	22.10% (+1.6%)	15.13% (+1.1%)

Tabla 6.12. Probabilidad de elección para un individuo tipo con 3 alternativas disponibles: disminución del 25% en el coste para el transporte público

Policy 3.1 (+1€ cost of parking, car)

Location	Nantes		Vitoria-Gasteiz	
	P_{bus-based}	P_{rail-based}	P_{bus-based}	P_{rail-based}
MNL13	25.36% (+5.9%)	26.18% (+6.1%)	23.98% (+8.4%)	18.42% (+6.4%)
ML13(EC)	26.23% (+5.3%)	27.58% (+5.6%)	24.98% (+7.5%)	18.60% (+5.6%)
ML13-t _{1,pt} (RC)	25.43% (+4.9%)	27.47% (+5.3%)	28.42% (+7.9%)	19.45% (+5.4%)

Tabla 6.13. Probabilidad de elección para un individuo tipo con 3 alternativas disponibles: aumento de 1€ en el coste de aparcamiento

Policy 3.2 (+[1.5-2.5]€ cost of parking, car)

Location	Nantes		Vitoria-Gasteiz	
	P_{bus-based}	P_{rail-based}	P_{bus-based}	P_{rail-based}
MNL13	28.32% (+8.8%)	29.23% (+9.1%)	28.60% (+13.0%)	21.98% (+10.0%)
ML13(EC)	28.87% (+8.0%)	30.36% (+8.4%)	28.93% (+11.4%)	21.54% (+8.5%)
ML13-t _{1,pt} (RC)	27.83% (+7.4%)	30.07% (+7.9%)	32.45% (+12.0%)	22.21% (+8.2%)

Tabla 6.14. Probabilidad de elección para un individuo tipo con 3 alternativas disponibles: aumento del coste de aparcamiento en función del valor de referencia

En lo relativo a las políticas que favorecen la elección del transporte público, y realizándose un análisis general de todas ellas, pueden observarse las siguientes diferencias en función de la localización analizada:

- Nantes: Tanto si se habla de la probabilidad de elección de las alternativas de transporte público, como del incremento de la misma experimentado a raíz de las diferentes políticas, apenas se encuentran diferencias entre el autobús y el modo ferroviario (si bien, en todos los casos estas probabilidades e incrementos son ligeramente mayores para los modos ferroviarios, del orden de unas décimas de punto porcentual).
- Vitoria-Gasteiz: tanto probabilidades de elección como incrementos de las mismas son más favorables para el autobús que para el modo ferroviario. Para la probabilidad de elección estas diferencias oscilan entre 4-10%, mientras que los incrementos de la probabilidad de elección son del orden de 0.5-4% favorables al autobús.

Si se considera la única actuación que disminuye la probabilidad de elección de las alternativas de transporte público, es decir la sub-política 1.2, no se aprecian apenas diferencias entre la alternativa autobús y el modo ferroviario para ninguna de las localizaciones. Sin embargo, en este caso las probabilidades de elección presentan

una disminución mayor en el caso de Nantes (del orden de un 2%) que en el de Vitoria-Gasteiz (0.6-1%).

Por último puede concluirse que, si se consideran como disponibles las 3 alternativas, la sub-política que genera un mayor incremento en la probabilidad de elección de autobús y del modo ferroviario es la 3.2 Además, y como era de esperar en vista de los resultados obtenidos en la estimación de modelos, se aprecia que la sub-política 1.1 es mucho más favorable para el transporte público en Nantes que en Vitoria-Gasteiz, siendo las diferencias en la probabilidad de elección en relación con la sub-política 3.2 un 2% y un 5-6% inferior, respectivamente.

6.4.2. Probabilidad de elección con 2 alternativas disponibles

En las tablas siguientes se muestran los resultados de la probabilidad de elección para las diferentes políticas y localizaciones, si se consideran como disponibles solamente 2 alternativas (siendo el coche una de ellas).

Se observa que de nuevo, para las políticas que tienden a favorecer el uso de transporte público apenas se presentan diferencias en las probabilidades de elección del autobús y del modo ferroviario. Lo mismo sucede con los incrementos experimentados por las mismas en Nantes (ligera y favorable para el modo ferroviario frente al autobús). Sin embargo, y aunque estas diferencias son mayores y favorables al autobús para Vitoria-Gasteiz, en este caso no son tan marcadas como lo eran para el caso de considerar 3 alternativas disponibles.

En cuanto a la sub-política 1.2, los efectos adversos para el transporte público siguen una tendencia similar a la mostrada cuando se consideran 3 alternativas disponibles, sin embargo la magnitud de estos efectos supone una variación en la probabilidad de elección respecto a la situación inicial que puede llegar a ser del orden del doble que en el caso anterior (4% y 2% como máximo para Nantes y Vitoria-Gasteiz, respectivamente). Por último, se destaca que para los modelos del tipo ML la probabilidad de elección de la alternativa coche sufre un incremento menor que con los modelos MNL, de forma similar a lo que sucedía en el procedimiento de enumeración muestral.

<i>Model</i>	<i>Initial situation</i>		<i>Policy 1.1</i>	<i>Policy 1.2</i>	<i>Policy 2.1</i>	<i>Policy 2.2</i>	<i>Policy 3.1</i>	<i>Policy 3.2</i>
	<i>P_{car}</i>	<i>P_{rail-based}</i>	Category A	Category C	-20% time	-25% fare	+1€ parking	+1.5-2.5]€ parking
MNL13	75.63%	24.37%	38.63% (+14.3%)	21.49% (-2.9%)	35.98% (+11.6%)	28.56% (+4.2%)	34.36% (+10.0%)	40.01% (+15.6%)
ML13(EC)	67.51%	32.49%	44.32% (+11.8%)	28.04% (-4.4%)	42.09% (+9.6%)	35.65% (+3.2%)	42.92% (+10.4%)	48.38% (+15.9%)
ML13-t _{1,pt} (RC)	67.47%	32.53%	44.04% (+11.5%)	28.73% (-3.8%)	42.77% (+10.2%)	35.56% (+3.0%)	42.50% (+10.0%)	47.66% (+15.1%)

Tabla 6.15. Probabilidad de elección para un individuo tipo con coche y autobús como disponibles: Nantes

<i>Model</i>	<i>Initial situation</i>		<i>Policy 1.1</i>	<i>Policy 1.2</i>	<i>Policy 2.1</i>	<i>Policy 2.2</i>	<i>Policy 3.1</i>	<i>Policy 3.2</i>
	<i>P_{car}</i>	<i>P_{rail-based}</i>	Category A	Category C	-20% time	-25% fare	+1€ parking	+1.5-2.5]€ parking
MNL13	75.04%	24.96%	39.38% (+14.4%)	22.03% (-2.9%)	36.71% (+11.8%)	29.21% (+4.3%)	35.07% (+10.1%)	40.78% (+15.8%)
ML13(EC)	66.81%	33.19%	45.08% (+11.9%)	28.69% (-4.5%)	42.84% (+9.7%)	36.36% (+3.2%)	43.67% (+10.5%)	49.14% (+16.0%)
ML13-t _{1,pt} (RC)	66.44%	33.56%	45.14% (+11.6%)	29.71% (-3.8%)	43.93% (+10.4%)	36.62% (+3.1%)	43.60% (+10.0%)	48.76% (+15.2%)

Tabla 6.16. Probabilidad de elección para un individuo tipo con coche y modo ferroviario como disponibles: Nantes

<i>Model</i>	<i>Initial situation</i>		<i>Policy 1.1</i>	<i>Policy 1.2</i>	<i>Policy 2.1</i>	<i>Policy 2.2</i>	<i>Policy 3.1</i>	<i>Policy 3.2</i>
	<i>P_{car}</i>	<i>P_{bus-based}</i>	Category A	Category C	-20% time	-25% fare	+1€ parking	+1.5-2.5]€ parking
MNL13	82.28%	17.72%	26.89% (+9.2%)	16.78% (-0.9%)	24.53% (+6.8%)	20.84% (+3.1%)	29.39% (+11.7%)	36.66% (+18.9%)
ML13(EC)	75.25%	24.75%	32.60% (+7.9%)	23.06% (-1.7%)	30.21% (+5.5%)	27.34% (+2.6%)	36.82% (+12.1%)	43.51% (+18.8%)
ML13-t _{1,pt} (RC)	71.00%	29.00%	38.79% (+9.8%)	27.66% (-1.3%)	35.45% (+6.5%)	31.54% (+2.5%)	41.75% (+12.8%)	48.57% (+19.6%)

Tabla 6.17. Probabilidad de elección para un individuo tipo con coche y autobús como disponibles: Vitoria-Gasteiz

<i>Model</i>	<i>Initial situation</i>		<i>Policy 1.1</i>	<i>Policy 1.2</i>	<i>Policy 2.1</i>	<i>Policy 2.2</i>	<i>Policy 3.1</i>	<i>Policy 3.2</i>
	<i>P_{car}</i>	<i>P_{rail-based}</i>	Category A	Category C	-20% time	-25% fare	+1€ parking	+1.5-2.5]€ parking
MNL13	85.80%	14.20%	22.03% (+7.8%)	13.42% (-0.8%)	19.99% (+5.8%)	16.83% (+2.6%)	24.23% (+10.0%)	30.78% (+16.6%)
ML13(EC)	78.09%	21.91%	29.33% (+7.4%)	20.34% (-1.6%)	27.05% (+5.1%)	24.35% (+2.4%)	33.38% (+11.5%)	39.89% (+18.0%)
ML13-t _{1,pt} (RC)	74.78%	25.22%	34.56% (+9.3%)	23.96% (-1.3%)	31.06% (+5.8%)	27.63% (+2.4%)	37.41% (+12.2%)	44.10% (+18.9%)

Tabla 6.18. Probabilidad de elección para un individuo tipo con coche y modo ferroviario como disponibles: Vitoria-Gasteiz

6.4.3. Elasticidad de la demanda

La elasticidad de la demanda representa el cambio porcentual en la probabilidad de elección de una alternativa, cuando se producen cambios marginales en un atributo de alguna de las alternativas involucradas en la elección. Si la variación se produce en un atributo perteneciente a la alternativa que se está analizando, la elasticidad asociada se denomina como elasticidad directa, y viene dada por la siguiente expresión (Espino, Ortúzar & Román; 2007):

$$E_{jj} = \frac{\Delta P_j / P_j^0}{\Delta X_j / X_j^0} = \frac{(P_j^1 - P_j^0) / P_j^0}{(X_j^1 - X_j^0) / X_j^0} \quad (6.3)$$

Siendo P_j^j y P_j^j la probabilidad de elegir la alternativa j (el modo de transporte público correspondiente en este caso) antes y después de considerar una variación marginal del atributo X considerado, de un valor X_j^0 a X_j^1 .

En cambio, si se considera la variación en la probabilidad de una alternativa que está motivada por la variación de un atributo perteneciente a otra alternativa distinta a la de análisis, esta elasticidad se conoce con el nombre de elasticidad cruzada, y se obtiene mediante la expresión siguiente:

$$E_{ji} = \frac{\Delta P_j / P_j^0}{\Delta X_i / X_i^0} = \frac{(P_j^1 - P_j^0) / P_j^0}{(X_i^1 - X_i^0) / X_i^0} \quad (6.4)$$

En el presente apartado se analizan las elasticidades de la demanda en transporte público asociadas a los atributos característicos de las políticas anteriormente consideradas, es decir, para el tiempo de viaje en transporte público, la tarifa de transporte público y el coste de aparcamiento en coche. Por tanto, se estudian las elasticidades directas de la demanda de autobús y modo ferroviario frente a cambios en los 2 primeros atributos (sub-políticas 2.1 y 2.2), y la elasticidad cruzada correspondiente a cambios en el coste de aparcamiento (políticas 3.1 y 3.2). Nótese que no se calculan las elasticidades asociadas a los cambios en el atributo tipo de transporte público. Esto es debido a que al tratarse de un atributo cuyos niveles se presentan en categorías, no tiene sentido plantear la elasticidad asociada dada la definición de la misma, ya que no pueden darse variaciones porcentuales unitarias.

Para el cálculo de estas elasticidades se tienen en cuenta los resultados de la probabilidad obtenidos cuando solamente se consideran 2 alternativas como disponibles, siendo los valores de los atributos los siguientes:

Policy	2.1 (time, min)		2.2 (fare, €)		3.1 (parking cost, €)		3.2 (parking cost, €)	
	Nantes	Vitoria-Gasteiz	Nantes	Vitoria-Gasteiz	Nantes	Vitoria-Gasteiz	Nantes	Vitoria-Gasteiz
X_i^0	23	23	1.4	1	-	-	-	-
X_i^1	18.4	18.4	1.05	0.75	-	-	-	-
X_i^0	-	-	-	-	1.65	1.2	1.65	1.2
X_i^1	-	-	-	-	2.65	2.2	3.15	2.7

Tabla 6.19. Valores empleados en el cálculo de las elasticidades de la demanda

Las elasticidades de la demanda correspondientes a las alternativas de transporte público en las ciudades de Nantes y Vitoria-Gasteiz se presentan en las tablas 6.20 y 6.21, respectivamente. Apenas se aprecian diferencias en las elasticidades asociadas al autobús y al modo ferroviario, siendo sus valores absolutos ligeramente superiores para la alternativa autobús.

Además, todas las demandas respecto a los atributos son inelásticas (por ser el valor absoluto de las mismas inferior a 1) salvo para el caso del tiempo de viaje en transporte público (sub-política 2.1). En cuanto a los signos obtenidos, las elasticidades asociadas a la política 2 presentan un signo negativo (lo que era esperado, puesto que ante un incremento en el tiempo de viaje o coste del mismo la demanda de la alternativa debe disminuir, y del mismo modo esta demanda aumentará si el tiempo o el coste se reducen).

Los signos asociados a las elasticidades cruzadas de la política 3 también son los esperados a priori, es decir, positivos. Dados estos resultados puede deducirse que el coche y el modo de transporte público correspondiente son sustitutivos (si aumenta el coste de aparcamiento también lo hace la demanda del modo público considerado). Los valores absolutos para ambas políticas son prácticamente idénticos.

Por otra parte los modelos MNL presentan elasticidades mayores en valor absoluto que los ML, siendo esto una consecuencia directa de las diferencias en los valores de las probabilidades obtenidas tras los cambios en los atributos (tablas de 6.15 a 6.18). También se aprecian pequeñas diferencias entre los valores obtenidos en Nantes y Vitoria-Gasteiz, siendo las demandas más elásticas para el caso de la ciudad francesa

si consideramos elasticidades directas, mientras que se aprecian valores mayores en Vitoria-Gasteiz para la elasticidad cruzada.

Alternative	Model	Policy			
		2.1 -20% time	2.2 -25% fare	3.1 +1€ parking	3.2 +[1.5-2.5]€ parking
Bus-based	MNL13	-2.382	-0.688	0.676	0.706
	ML13(EC)	-1.476	-0.388	0.529	0.538
	ML13-t _{1,pt} (RC)	-1.573	-0.372	0.506	0.511
Rail-based	MNL13	-2.355	-0.681	0.669	0.697
	ML13(EC)	-1.454	-0.383	0.521	0.529
	ML13-t _{1,pt} (RC)	-1.546	-0.364	0.494	0.498

Tabla 6.20. Elasticidad de la demanda directa y cruzada en la ciudad de Nantes

Alternative	Model	Policy			
		2.1 -20% time	2.2 -25% fare	3.1 +1€ parking	3.2 +[1.5-2.5]€ parking
Bus-based	MNL13	-1.924	-0.706	0.791	0.855
	ML13(EC)	-1.103	-0.419	0.586	0.607
	ML13-t _{1,pt} (RC)	-1.113	-0.351	0.528	0.540
Rail-based	MNL13	-2.039	-0.742	0.848	0.935
	ML13(EC)	-1.173	-0.444	0.628	0.656
	ML13-t _{1,pt} (RC)	-1.157	-0.382	0.580	0.599

Tabla 6.21. Elasticidad de la demanda directa y cruzada en la ciudad de Vitoria-Gasteiz

6.4.4. Variación relativa de la demanda: análisis de políticas

Puesto que no es posible calcular las elasticidades de la demanda asociadas a los cambios producidos en el atributo tipo de transporte público, se opta por calcular la variación relativa de la demanda como un indicador mediante el cual pueden compararse las repercusiones de todas las políticas consideradas. La predicción de los cambios en la demanda debidos a la aplicación de diferentes políticas puede representarse mediante el cambio porcentual en la cuota agregada de la alternativa j respecto a la situación inicial, mediante la siguiente expresión (Espino et al., 2007):

$$\Delta P_j = \frac{(P_j^1 - P_j^0)}{P_j^0} \cdot 100 \quad (6.5)$$

donde P_j^1 es la cuota agregada de la alternativa j cuando se aplica la política correspondiente y P_j^0 es la cuota agregada de dicha alternativa en la situación inicial.

Generalmente estas cuotas agregadas se obtienen mediante el procedimiento de enumeración muestral, sin embargo en este caso concreto y al tratarse de un único individuo tipo, esta cuota es directamente el valor obtenido para la probabilidad.

A continuación se presentan los porcentajes de variación obtenidos en la aplicación de las distintas políticas para las localizaciones y alternativas consideradas:

Alternative	Model	Policy					
		1.1 Category A	1.2 Category C	2.1 -20% time	2.2 -25% fare	3.1 +1€ parking	3.2 +[1.5-2.5]€ parking
Bus-based	MNL13	58.50	-11.81	47.64	17.19	40.98	64.20
	ML13(EC)	36.40	-13.69	29.52	9.70	32.07	48.88
	ML13-t _{1,pt} (RC)	35.38	-11.69	31.45	9.30	30.65	46.50
Rail-based	MNL13	57.78	-11.73	47.10	17.04	40.54	63.38
	ML13(EC)	35.84	-13.54	29.09	9.58	31.59	48.09
	ML13-t _{1,pt} (RC)	34.52	-11.47	30.91	9.11	29.92	45.30

Tabla 6.22. Porcentaje de variación relativa de la demanda de transporte público en la ciudad de Nantes

Alternative	Model	Policy					
		1.1 Category A	1.2 Category C	2.1 -20% time	2.2 -25% fare	3.1 +1€ parking	3.2 +[1.5-2.5]€ parking
Bus-based	MNL13	51.77	-5.27	38.47	17.65	65.89	106.91
	ML13(EC)	31.74	-6.82	22.07	10.48	48.81	75.85
	ML13-t _{1,pt} (RC)	33.78	-4.62	22.26	8.77	43.98	67.48
Rail-based	MNL13	55.21	-5.48	40.79	18.54	70.70	116.83
	ML13(EC)	33.84	-7.17	23.45	11.09	52.34	82.03
	ML13-t _{1,pt} (RC)	37.00	-5.02	23.15	9.55	48.33	74.84

Tabla 6.23. Porcentaje de variación relativa de la demanda de transporte público en la ciudad de Vitoria-Gasteiz

Apenas se observan diferencias si se comparan los resultados para las 2 alternativas de transporte público, siendo estas más marcadas en Vitoria-Gasteiz, donde la variación de la demanda es sensiblemente mayor para la alternativa autobús. En cuanto a los distintos tipos de modelos, de nuevo se aprecian diferencias entre los modelos MNL y los ML debido a la correlación que se induce en estos últimos.

Si se analizan las diferencias entre ciudades, puede verse que las políticas que incluyen cambios positivos en las alternativas de transporte público funcionan mejor en Nantes, en lo que a la captación de usuarios para el transporte público se refiere (a excepción de la sub-política 2.2, donde las diferencias en el porcentaje de demanda son apenas perceptibles entre ambas ciudades). De hecho, la única sub-política que supera la captación obtenida al aumentar el nivel del atributo tipo transporte público a “categoría A” (sub-política 1.1) consiste en aumentar el coste de aparcamiento de coche al valor máximo considerado (sub-política 3.2). También se aprecia que con una reducción del 20% en el tiempo de viaje (sub-política 2.1), se obtienen prácticamente

los mismos resultados que con un aumento de 1 € en el coste de aparcamiento (sub-política 3.1).

En Vitoria-Gasteiz las sub-políticas que mejor funcionan están basadas en la penalización del coche (sub-políticas 3.1 y 3.2), siendo superiores a todas las políticas en las que se mejoran los atributos del transporte público en lo que a captación de viajeros se refiere. A modo de comparación con la ciudad de Nantes, puede verse como en este caso se obtienen menos de la mitad de usuarios de transporte público con una reducción del 20% en el tiempo de viaje (sub-política 2.1), respecto a los obtenidos con aumento de 1 € en el coste de aparcamiento (sub-política 3.1).

6.5. Simulación de atributos en la población

La simulación de valores de los atributos influyentes en la elección para una población hipotética de individuos es otro de los procedimientos seguidos en el análisis del reparto modal. Esto es equivalente a generar una situación de elección con 2 alternativas disponibles para cada individuo, en primer lugar el coche y en segundo lugar una alternativa de transporte público (basada en el autobús o ferroviaria). Posteriormente se aplican los modelos de reparto obtenidos en Nantes y Vitoria-Gasteiz sobre las situaciones simuladas, analizando las diferencias que se presentan en ambas localizaciones cuando se considera cada una de las alternativas de transporte público como disponible.

El presente procedimiento de simulación se concibe para analizar la existencia del *rail factor*, y nace con 2 objetivos claramente diferenciados que se abordan a partir de 2 enfoques distintos. A continuación se enumeran estos objetivos, describiendo los mismos así como los enfoques adoptados en cada caso:

1. Comparar la respuesta de una población ante una hipotética igualdad de condiciones para alternativas de transporte público (sistema basado en el autobús y sistema ferroviario):

A la hora de recopilar una muestra mediante el ejercicio de elección PD presentado a los encuestados se tuvieron en cuenta una serie de valores para los atributos influyentes. Con estas características de los modos disponibles se buscó un experimento en el que existiese cierto equilibrio entre las alternativas del transporte público, aunque no se impuso la igualdad de los valores de atributos para estas alternativas en diferentes observaciones. Esto fue así para

perseguir el objetivo de dotar de realismo al citado experimento. Mediante un primer procedimiento de simulación se plantea de forma teórica la igualdad de valores de los atributos de las alternativas de transporte público, y tomando esta situación inicial como referencia se simulan posteriormente variaciones análogas a las mostradas en el apartado 6.4. Este procedimiento se denomina como enfoque teórico, y se tratará en el siguiente apartado (6.5.1).

2. Analizar las consecuencias derivadas de sustituir un sistema de autobús convencional por un SCI, en lo que a captación de usuarios se refiere:

Esta situación es la que generalmente suele presentarse en la realidad cuando se quieren mejorar las prestaciones de una línea de autobús convencional en una ciudad de tamaño intermedio. En este caso se pretenden simular situaciones más realistas, en las que los valores de los atributos son diferentes en función de la tipología de SCI considerado. Para ello se plantea un enfoque a nivel de un corredor, con 3 situaciones o escenarios diferentes para representar los posibles cambios debidos a esta sustitución simulada:

- Escenario simulado bus convencional: coche y autobús convencional como alternativas disponibles.
- Escenario simulado homogéneo: se analizan las diferencias de elección debidas a la implantación de un sistema BHLS o de un sistema LRT de características idénticas, frente al coche.
- Escenario simulado realista: de nuevo se analizan las diferencias de elección debidas a la implantación de un sistema BHLS o de un sistema LRT frente al coche, pero en este caso los valores de los atributos de los SCI son diferentes en función de su tipología (por ejemplo, el intervalo entre vehículos de un sistema BHLS suele ser menor que el de un sistema LRT, ya que para este último la distancia entre paradas suele ser mayor).

La última cuestión que puede plantearse respecto a la simulación de poblaciones tiene que ver con su tamaño, y se resume en la siguiente pregunta: ¿cuál será el tamaño mínimo de la población para que pueda considerarse la misma como representativa, y que por tanto no se produzcan diferencias en los resultados si se considera un número mayor? Para dar respuesta a esta pregunta se realiza en el anexo A26 un análisis de las situaciones planteadas en los 2 enfoques considerados. En el mismo se comparan los resultados obtenidos para la simulación considerando diferentes tamaños de población (1 000, 5 000 y 10 000 viajes), observándose diferencias leves en la elección para las distintas alternativas teniendo en cuenta todas las tipologías de

modelos y localizaciones consideradas (diferencias menores al 0.5% entre considerar el intervalo de $n=1\ 000$ y el de $n=10\ 000$, es decir, menos de 5 viajeros de diferencia por cada 1 000 viajes).

Por lo tanto, y debido a que los valores de los resultados son estables, puede afirmarse que para el intervalo considerado, el tamaño de la población o viajes simulados apenas afecta al reparto modal obtenido. Finalmente, se opta por analizar los resultados de las simulaciones con una población de 1 000 viajes, debido a la menor cantidad de recursos necesarios para la simulación (véase el anexo A26 para la justificación de este valor).

6.5.1. Simulación mediante el enfoque teórico

Tal y como se ha comentado previamente, en este caso se analizan las diferencias en la elección de los individuos ante una hipotética igualdad de condiciones en las alternativas de transporte público. Para ello se plantea una situación inicial en la que se simulan los valores de los atributos del coche así como los valores de una de las alternativas de transporte público. Posteriormente se aplican 2 veces los modelos obtenidos en las ciudades de Nantes y Vitoria-Gasteiz, considerando en primer lugar solamente como disponible una alternativa de transporte público basada en el autobús frente al coche, mientras que en segundo lugar se plantea una situación en la que existe un sistema ferroviario con idénticas condiciones al anterior y el coche. Para finalizar, se consideran todas las políticas mostradas en el apartado 6.4 respecto a la situación inicial, y sobre estas se aplican de nuevo 2 veces los modelos de reparto modal de forma análoga a la anterior.

A la hora de simular los valores de los atributos influyentes en la elección de modo de la población se han empleado distribuciones uniformes entre 2 valores límite, que han sido fijados a priori. El proceso seguido ha sido el siguiente:

1. Se fijan los límites inferior y superior del valor simulado del atributo (X_{inf} y X_{sup}).
2. Se define un número aleatorio uniforme entre cero y 1 (ω_x).
3. El valor simulado del atributo para cada individuo que realiza un viaje (X_{sim}) se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$X_{sim} = X_{inf} + \omega_x \cdot (X_{sup} - X_{inf}) \sim U [X_{inf}, X_{sup}] \quad (6.6)$$

Siguiendo este procedimiento los valores de los atributos para la situación inicial en este enfoque teórico se obtienen fijando los siguientes límites:

- Tiempo de viaje en transporte público: se considera un valor simulado para el tiempo de viaje total de entre 5 y 40 minutos $\rightarrow T_{pt} \sim U[5,40]$
- Coste de viaje en transporte público: se considera un valor simulado para el coste de viaje de entre 0.8 y 1.2 euros. En este caso no se tienen en cuenta costes diferentes para las localizaciones consideradas $\rightarrow C_{pt} \sim U[0.8,1.2]$
- Intervalo entre vehículos: el valor de este atributo se simula en función del tiempo de viaje, tomando como límite superior la mitad del tiempo de viaje (en minutos), mientras que el límite inferior es fijo e igual a 2 minutos $\rightarrow F_{pt} \sim U[2, T_{pt}/2]$
- Número de transbordos: de nuevo se simula el valor de este atributo en función del tiempo de viaje. En este caso se trata de un valor discreto, que se sitúa entre cero y 2, y para la simulación del mismo se tienen en cuenta las siguientes condiciones:
 - Si $T_{pt} < 15 \text{ min} \rightarrow NT_{pt} = 0$
 - Si $15 \text{ min} \leq T_{pt} < 30 \text{ min} \rightarrow NT_{pt} = 0$ si $\omega_x \leq 0.5$ y $NT_{pt} = 1$ si $\omega_x > 0.5$
 - Si $T_{pt} \geq 30 \text{ min} \rightarrow NT_{pt} = 0$ si $\omega_x \leq 0.33$; $NT_{pt} = 1$ si $0.33 < \omega_x \leq 0.66$ y $NT_{pt} = 2$ si $\omega_x > 0.66$
- Tipo de transporte público: Es el último atributo correspondiente a alternativas de transporte público. También es un valor de tipo discreto y se considera la misma probabilidad de aparición para cada una de las 3 categorías, según las siguientes condiciones:
 - $PT = A$ si $\omega_x \leq 0.33$
 - $PT = B$ si $0.33 < \omega_x \leq 0.66$
 - $PT = C$ si $\omega_x > 0.66$
- Tiempo de viaje en coche: se calcula considerando una variación de un 20% en torno al tiempo de viaje en transporte público correspondiente $\rightarrow T_c \sim U[0.8 \cdot T_{pt}, 1.2 \cdot T_{pt}]$
- Coste de aparcamiento en destino: se toma un valor continuo de entre cero y 5 euros para ambas localizaciones $\rightarrow C_c \sim U[0,5]$

En la siguiente tabla se resumen las políticas de transporte aplicadas sobre la población de la situación inicial. Merece la pena destacar que se han añadido 3 sub-políticas en la primera de las políticas, que aludía a variaciones en el atributo tipo de transporte público. Estas sub-políticas, denominadas 1A, 1B y 1C, corresponden al

hecho de considerar como categorías de este atributo para todos los individuos a la “categoría A”, la “categoría B” y la “categoría C”, respectivamente. En este caso es posible introducir estas 3 sub-políticas debido a que, al contrario que en el apartado 6.4, la población no está constituida por un único individuo tipo.

Policy	Sub-Policy	Atribute Variation
1. Type of public transport	TS11	$PT(11) \rightarrow PT(IS) + 1 \text{ level}$
	TS12	$PT(12) \rightarrow PT(IS) - 1 \text{ level}$
	TS1A	$PT(1A) \rightarrow \text{Category A}$
	TS1B	$PT(1B) \rightarrow \text{Category B}$
	TS1C	$PT(1C) \rightarrow \text{Category C}$
2. Had factors for public transport	TS21	$Tpt(21) \rightarrow 0.8 \cdot Tpt(IS)$
	TS22	$Cpt(2) \rightarrow 0.75 \cdot Cpt(IS)$
3. Cost of parking for car alternative	TS31	$Cc(31) \rightarrow Cc(IS) + 1\text{€}$
	TS32	$Cc(32) \rightarrow Cc(IS) + 0.5\text{€}$ (if $Cc(IS) < 2.5\text{€}$) $Cc(32) \rightarrow Cc(IS) + 1.5\text{€}$ (if $Cc(IS) > 2.5\text{€}$)

Tabla 6.24. Resumen de las variaciones en atributos realizadas en políticas simuladas

Cada una de las sub-políticas se denomina mediante las siglas TS (*Theoretical Simulation*) y el número correspondiente a cada una de ellas, mientras que las siglas IS aluden a la situación inicial simulada (*Initial Situation*).

A continuación se presentan los resultados de la simulación teórica, correspondientes a las cuotas agregadas de las alternativas de transporte público para las diferentes políticas. Además, se muestran las variaciones absolutas de estas cuotas respecto a la situación inicial entre paréntesis, todo ello en función de la localización y tipología de modelo.

	Initial situation		TS11	TS12
<i>Model / Alternative</i>	Car	Bus-based	Bus-based	Bus-based
MNL13	38.42%	61.58%	67.05% (+5.47%)	56.10% (-5.48%)
ML13(EC)	36.41%	63.59%	68.59% (+5.00%)	58.59% (-5.00%)
ML13t_{1,pt}(RC)	37.15%	62.85%	67.10% (+4.25%)	58.62% (-4.22%)
<i>Model / Alternative</i>	Car	Rail-based	Rail-based	Rail-based
MNL13	37.81%	62.19%	67.63% (+5.44%)	56.74% (-5.45%)
ML13(EC)	35.77%	64.23%	69.20% (+4.97%)	59.26% (-4.97%)
ML13t_{1,pt}(RC)	36.30%	63.70%	67.89% (+4.19%)	59.54% (-4.16%)

	TS1A	TS1B	TS1C
<i>Model / Alternative</i>	Bus-based	Bus-based	Bus-based
MNL13	71.04% (+9.47%)	58.31% (-3.27%)	54.97% (-6.61%)
ML13(EC)	71.76% (+8.17%)	61.57% (-2.02%)	57.08% (-6.51%)
ML13t_{1,pt}(RC)	69.84% (+6.99%)	60.93% (-1.91%)	57.46% (-5.38%)
<i>Model / Alternative</i>	Rail-based	Rail-based	Rail-based
MNL13	71.59% (+9.40%)	58.94% (-3.25%)	55.62% (-6.58%)
ML13(EC)	72.34% (+8.11%)	62.24% (-2.00%)	57.76% (-6.48%)
ML13t_{1,pt}(RC)	70.59% (+6.89%)	61.82% (-1.88%)	58.39% (-5.31%)

	TS21	TS22
<i>Model / Alternative</i>	Bus-based	Bus-based
MNL13	72.16% (+10.58%)	64.55% (+2.97%)
ML13(EC)	71.68% (+8.09%)	65.65% (+2.06%)
ML13t_{1,pt}(RC)	70.87% (+8.03%)	64.62% (+1.78%)
<i>Model / Alternative</i>	Rail-based	Rail-based
MNL13	72.71% (+10.51%)	65.15% (+2.96%)
ML13(EC)	72.26% (+8.02%)	66.28% (+2.04%)
ML13t_{1,pt}(RC)	71.65% (+7.95%)	65.45% (+1.75%)

	TS31	TS32
<i>Model / Alternative</i>	Bus-based	Bus-based
MNL13	70.55% (+8.97%)	70.99% (+9.41%)
ML13(EC)	72.37% (+8.78%)	72.84% (+9.25%)
ML13t_{1,pt}(RC)	70.36% (+7.51%)	70.85% (+8.00%)
<i>Model / Alternative</i>	Rail-based	Rail-based
MNL13	71.10% (+8.90%)	71.55% (+9.36%)
ML13(EC)	72.94% (+8.71%)	73.42% (+9.19%)
ML13t_{1,pt}(RC)	71.09% (+7.39%)	71.58% (+7.88%)

Tabla 6.25. Cuotas agregadas de las alternativas de transporte público en simulación del enfoque teórico: Nantes

	Initial situation		TS11	TS12
<i>Model / Alternative</i>	Car	Bus-based	Bus-based	Bus-based
MNL13	46.47%	53.53%	57.57% (+4.04%)	49.54% (-3.99%)
ML13(EC)	45.31%	54.69%	58.10% (+3.41%)	51.35% (-3.35%)
ML13t_{1,pt}(RC)	40.81%	59.19%	62.46% (+3.28%)	56.03% (-3.16%)
<i>Model / Alternative</i>	Car	Rail-based	Rail-based	Rail-based
MNL13	51.68%	48.32%	52.39% (+4.07%)	44.30% (-4.01%)
ML13(EC)	48.54%	51.46%	54.89% (+3.43%)	48.09% (-3.37%)
ML13t_{1,pt}(RC)	44.34%	55.66%	59.06% (+3.40%)	52.39% (-3.27%)

	TS1A	TS1B	TS1C
<i>Model / Alternative</i>	Bus-based	Bus-based	Bus-based
MNL13	60.90% (+7.37%)	50.41% (-3.12%)	49.10% (-4.43%)
ML13(EC)	60.63% (+5.94%)	52.62% (-2.08%)	50.71% (-3.99%)
ML13t_{1,pt}(RC)	64.96% (+5.77%)	56.87% (-2.32%)	55.61% (-3.57%)
<i>Model / Alternative</i>	Rail-based	Rail-based	Rail-based
MNL13	55.79% (+7.48%)	45.16% (-3.15%)	43.87% (-4.45%)
ML13(EC)	57.46% (+6.00%)	49.36% (-2.10%)	47.45% (-4.01%)
ML13t_{1,pt}(RC)	61.67% (+6.02%)	53.24% (-2.41%)	51.96% (-3.70%)

	TS21	TS22
<i>Model / Alternative</i>	Bus-based	Bus-based
MNL13	61.46% (+7.93%)	57.48% (+3.95%)
ML13(EC)	60.23% (+5.54%)	57.47% (+2.78%)
ML13t_{1,pt}(RC)	64.97% (+5.78%)	61.40% (+2.22%)
<i>Model / Alternative</i>	Rail-based	Rail-based
MNL13	56.33% (+8.01%)	52.32% (+4.00%)
ML13(EC)	57.06% (+5.60%)	54.26% (+2.80%)
ML13t_{1,pt}(RC)	61.54% (+5.89%)	57.96% (+2.30%)

	TS31	TS32
<i>Model / Alternative</i>	Bus-based	Bus-based
MNL13	66.04% (+12.51%)	66.84% (+13.31%)
ML13(EC)	66.33% (+11.64%)	66.93% (+12.24%)
ML13t_{1,pt}(RC)	69.01% (+9.82%)	69.96% (+10.78%)
<i>Model / Alternative</i>	Rail-based	Rail-based
MNL13	61.18% (+12.87%)	61.69% (+13.37%)
ML13(EC)	63.32% (+11.86%)	63.78% (+12.32%)
ML13t_{1,pt}(RC)	65.99% (+10.33%)	66.91% (+11.25%)

Tabla 6.26. Cuotas agregadas de las alternativas de transporte público en simulación del enfoque teórico:

Vitoria-Gasteiz

Independientemente de la localización, se obtienen mayores cuotas agregadas así como mayores variaciones en las mismas para los modelos MNL que para los modelos ML. Además, aunque se presentan diferencias mínimas en función de la localización considerada, puede verse que en Nantes las variaciones en las cuotas son mayores que en Vitoria-Gasteiz para políticas que modifican atributos correspondientes al transporte público, a excepción de la tarifa del mismo (sub-política 2.2). Sin embargo en Vitoria-Gasteiz se obtienen mayores variaciones de las cuotas para la política 3 (cambio en el coste de aparcamiento para el coche). Estas

tendencias eran las esperadas puesto que son las mismas que las observadas en apartados anteriores (enumeración muestral y probabilidad de elección para un individuo tipo).

En cuanto al atributo tipo de transporte público, uno de los principales factores influyentes en la investigación, se aprecia que el incremento en la cuota a medida que aumenta la categoría (y por tanto la calidad de la imagen percibida, puesto que en este caso se impone igualdad del resto de factores), no es simétrico. Es decir, se valora mucho más positivamente que el transporte tenga “categoría A” de lo que se valora negativamente que el transporte tenga “categoría C”. Además, en función de la ciudad considerada se observan pequeñas diferencias: mientras que el paso de transporte público convencional (categoría C) a un LRT o un BHLS (categoría A) supone un incremento de la cuota de 12-17% en Nantes, en Vitoria-Gasteiz este incremento es algo menor (de 9-13%). Esto puede ser debido a cuestiones culturales propias de cada sociedad en lo que a la valoración del transporte público se refiere, una mayor experiencia con los SCI en Nantes debido al mayor tiempo que llevan implantados, aspectos psicológicos de diversa índole, etc.

En cuanto al estudio teórico de la existencia de un *rail factor*, no puede afirmarse que exista en ninguna de las localizaciones ya que las diferencias en las variaciones de cuotas agregadas de autobús y modo ferroviario son de pequeña magnitud. Sin embargo, y dado que estas diferencias son mayores en la ciudad de Vitoria-Gasteiz, parece conveniente hallar las variaciones relativas de las cuotas en función de las políticas aplicadas, o lo que es lo mismo, la variación de la demanda de transporte que viene dada por la expresión 6.5.

	TS11	TS12	TS1A	TS1B	TS1C	TS21	TS22	TA31	TS32
<i>Model / Alternative</i>	Bus-based								
MNL13	8.889	-8.903	15.371	-5.315	-10.738	17.183	4.831	14.572	15.287
ML13(EC)	7.861	-7.866	12.843	-3.172	-10.244	12.716	3.233	13.805	14.541
ML13t_{1,pt}(RC)	6.766	-6.720	11.129	-3.040	-8.567	12.772	2.831	11.956	12.733
<i>Model / Alternative</i>	Rail-based								
MNL13	8.747	-8.762	15.113	-5.222	-10.573	16.903	4.753	14.317	15.045
ML13(EC)	7.730	-7.737	12.619	-3.111	-10.081	12.490	3.179	13.552	14.300
ML13t_{1,pt}(RC)	6.578	-6.538	10.810	-2.948	-8.341	12.473	2.753	11.602	12.374

Tabla 6.27. Porcentaje de variación de la demanda de transporte público en simulación del enfoque teórico: Nantes

	TS11	TS12	TS1A	TS1B	TS1C	TS21	TS22	TA31	TS32
<i>Model / Alternative</i>	Bus-based								
MNL13	7.541	-7.453	13.769	-5.836	-8.271	14.806	7.384	23.379	24.865
ML13(EC)	6.230	-6.124	10.859	-3.794	-7.294	10.122	5.078	21.280	22.379
ML13t_{1,pt}(RC)	5.534	-5.332	9.748	-3.923	-6.037	9.765	3.743	16.588	18.205
<i>Model / Alternative</i>	Rail-based								
MNL13	8.419	-8.308	15.471	-6.526	-9.203	16.572	8.280	26.630	27.668
ML13(EC)	6.666	-6.553	11.664	-4.074	-7.796	10.890	5.447	23.044	23.936
ML13t_{1,pt}(RC)	6.111	-5.877	10.810	-4.337	-6.644	10.579	4.137	18.567	20.216

Tabla 6.28. Porcentaje de variación de la demanda de transporte público en simulación del enfoque teórico: Vitoria-Gasteiz

De nuevo se aprecian las tendencias vistas en los apartados previos, y de las que no puede deducirse la existencia de un *rail factor*. Si tuviera que realizarse alguna distinción en función de la alternativa de transporte público considerada, en Vitoria-Gasteiz se aprecia que las políticas afectan en mayor medida a la alternativa autobús de forma leve (ya sea positiva o negativamente), mientras que en Nantes apenas hay diferencias entre el sistema basado en el autobús y el ferroviario.

En cuanto al atributo tipo de transporte público, se observa que la ganancia en porcentaje en términos relativos de pasar de “categoría C” a “categoría A” es de 20-26% en Nantes, para ambos sistemas de transporte público. Sin embargo en el caso de Vitoria-Gasteiz este porcentaje varía en función de la alternativa considerada, siendo de 17-25% para el modo ferroviario frente a 17-22% para el autobús. Esto quiere decir que mientras que si consideramos un modelo MNL aparecen diferencias en función de la alternativa, con modelos ML estas son apenas perceptibles, lo que pone de manifiesto la importancia del tipo de modelización en los resultados de predicción de la demanda.

6.5.2. Simulación mediante el enfoque corredor

El estudio de la existencia de un *rail factor* y el conocimiento que pudiera contrastarse respecto a este fenómeno sería sin duda provechoso a la hora de tomar decisiones respecto a la implantación de nuevos sistemas de capacidad intermedia. En la mayoría de los casos estas implantaciones se realizarían en corredores de ciudades de tamaño intermedio en los que ya existe un sistema de autobús convencional; bien sea porque el sistema actual fuese insuficiente para la demanda existente; o bien porque se quiera mejorar la calidad del servicio para obtener una mayor captación de viajeros.

Mediante el presente enfoque, denominado como enfoque corredor, se pretenden simular estas condiciones, con el objetivo de analizar el comportamiento que tendría una población cuando un sistema de bus convencional existente se sustituyese bien por un BHLS o bien por un LRT. Para ello se consideran los 3 escenarios simulados descritos en la introducción de este apartado 6.5, es decir, se parte de un escenario en el que se simulan los valores de los atributos para las alternativas de transporte coche y autobús convencional, sobre el que se aplican los modelos de reparto. Posteriormente se simula la elección entre coche y un SCI que bien puede ser ferroviario (LRT) o bien un sistema basado en el autobús (BHLS). En este segundo escenario se considera que las características de ambos SCI son idénticas. Para finalizar, se simula la elección en un tercer escenario en el que LRT y BHLS no tienen las mismas características, dotando de mayor realismo a la elección. Cabe destacar que en los 2 últimos escenarios se aplican los modelos de reparto 2 veces (la primera para simular la elección entre coche y BHLS, y la segunda para simular la elección entre coche y LRT, tal y como se hizo en el enfoque teórico).

A continuación se presentan cada uno de los 3 escenarios considerados en este enfoque corredor, definiendo las características correspondientes a cada uno de ellos.

6.5.2.1. Escenario simulado Autobús Convencional

En primer lugar se simula el escenario inicial del enfoque corredor, y a partir del mismo se consideran las variaciones en los atributos correspondientes a los nuevos escenarios considerados. Tal y como sucedía en el anterior enfoque, la simulación de los valores continuos de los atributos se realiza a partir de 2 valores límite y un valor aleatorio uniformemente distribuido entre cero y 1 (en este caso ϕ_x).

- Tiempo de viaje en transporte público: en el enfoque corredor se simulan por separado 3 componentes del tiempo total de viaje.
 - Tiempo en el vehículo: se considera un valor simulado continuo de entre 5 y 30 minutos $\rightarrow T_{veh_{pt}} \sim U[5,30]$
 - Tiempo de espera: se considera un valor fijo de 5 minutos, que es igual a la mitad del intervalo entre vehículos considerado $\rightarrow T_{esp_{pt}} = 5 \text{ min}$
 - Tiempo de caminata: se considera un valor simulado de entre 1 y 5 minutos $\rightarrow T_{cam_{pt}} \sim U[1,5]$

El tiempo total de viaje se obtiene como la suma de las 3 componentes anteriores para cada individuo. Por lo tanto el tiempo total de viaje oscila entre los 11 y los 40 minutos.

- Coste de viaje en transporte público: en esta ocasión se consideran valores discretos, lo que confiere mayor realismo a esta simulación. Se toman como valores límite las medias de los valores correspondientes a los niveles inferior e intermedio del ejercicio de elección PD para las ciudades consideradas, es decir, 0.75 y 1.2 euros. Como valor intermedio se toma 1 euro, considerándose una proporción de individuos con cada tarifa de 60%, 30% y 10% (de menor a mayor coste):
 - $C_{pt} = 0.75 \text{ €}$ si $\varphi_x \leq 0.6$
 - $C_{pt} = 1 \text{ €}$ si $0.6 < \varphi_x \leq 0.9$
 - $C_{pt} = 1.2 \text{ €}$ si $0.9 < \varphi_x \leq 1$
- Intervalo entre vehículos: se toma un valor fijo e igual a 10 minutos $\rightarrow F_{pt} = 10 \text{ min}$
- Número de transbordos: de nuevo se simula el valor de este atributo en función del tiempo de viaje. El valor es discreto y se sitúa entre cero y 2, y el reparto es de 70-30% de individuos con ningún transbordo o 1 transbordo si el tiempo de viaje se sitúa entre 15 y 35 minutos, o bien de 60-30-10% de individuos con ningún, 1 o 2 transbordos, si el tiempo de viaje es superior a 35 minutos:
 - Si $T_{pt} < 15 \text{ min} \rightarrow NT_{pt} = 0$
 - Si $15 \text{ min} \leq T_{pt} < 35 \text{ min} \rightarrow NT_{pt} = 0$, si $\varphi_x \leq 0.7$ y $NT_{pt} = 1$, si $\varphi_x > 0.7$
 - Si $T_{pt} \geq 35 \text{ min} \rightarrow NT_{pt} = 0$, si $\varphi_x \leq 0.6$; $NT_{pt} = 1$, si $0.6 < \varphi_x \leq 0.9$ y $NT_{pt} = 2$, si $\varphi_x > 0.9$
- Tipo de transporte público: en este escenario todos los individuos tienen disponible un sistema de autobús “categoría C” (puesto que se trata de un autobús convencional) $\rightarrow PT = C$
- Tiempo de viaje en coche: se calcula considerando unos valores límite iguales al 70% y 110% del valor para el tiempo de viaje en transporte público correspondiente $\rightarrow T_c \sim U[0.7 \cdot T_{pt}, 1.1 \cdot T_{pt}]$
- Coste de aparcamiento en destino: en este enfoque se considera que un 30% de los viajeros no pagan por estacionar, mientras que el 70% restante pagan entre 1 y 3 euros. Por tanto los valores para este atributo se simulan de la siguiente forma:
 - $C_c = 0$, si $\varphi_x \leq 0.3$
 - $C_c \sim U[1,3]$, si $0.3 < \varphi_x \leq 1$

6.5.2.2. Escenario simulado Homogéneo

Con la simulación de este escenario se pretende analizar las repercusiones en el reparto modal derivadas de sustituir el sistema de autobús convencional por un SCI, considerándose en este caso los mismos valores de los atributos influyentes tanto para el modo ferroviario (LRT) como para el autobús (BHLS).

El principal cambio por lo tanto se da en la categoría tipo de transporte público, que pasa de ser “categoría C” a “categoría A”. Además, esta variación conlleva asociada una serie de cambios en el resto de atributos influyentes, los cuales se describen a continuación. De forma previa conviene señalar que en la denominación de los factores correspondientes al escenario bus convencional se añade una C entre paréntesis (categoría C), mientras que los valores para este escenario homogéneo se diferencian con las letras AH (categoría A, escenario Homogéneo) también entre paréntesis.

- Tiempo de viaje en transporte público: se reduce un 30% el tiempo en el vehículo, un 15% el tiempo de espera (ya que también se reduce el intervalo entre vehículos), y se aumenta el valor superior del tiempo de caminata hasta los 7 minutos, puesto que es previsible que se aumente la distancia entre paradas.
 - Tiempo en el vehículo: $T_{veh_{pt}}(AH) \rightarrow 0.7 \cdot T_{veh_{pt}}(C)$
 - Tiempo de espera: $T_{esp_{pt}}(AH) \rightarrow 0.85 \cdot T_{esp_{pt}}(C)$
 - Tiempo de caminata: se considera un valor simulado de entre 1 y 7 minutos $\rightarrow T_{cam_{pt}}(AH) \sim U[1,7]$
- Coste de viaje en transporte público: permanece igual que en el escenario simulado anterior $\rightarrow C_{pt}(AH) = C_{pt}(C)$
- Intervalo entre vehículos: se reduce este valor en un 15% $\rightarrow F_{pt}(AH) = 0.85 \cdot F_{pt}(C)$
- Número de transbordos: el mismo que para el escenario simulado anterior $\rightarrow NT_{pt}(AH) = NT_{pt}(C)$
- Tipo de transporte público: en este escenario todos los individuos tienen disponible un SCI “categoría A” $\rightarrow PT = A$
- Atributos para la alternativa coche: los valores permanecen idénticos a los del escenario simulado inicial $\rightarrow T_c(AH) = T_c(C)$ y $C_c(AH) = C_c(C)$

6.5.2.3. Escenario simulado Realista

En el anterior escenario se considera la igualdad de los atributos influyentes para los SCI implantados. Este artificio, que es útil para el estudio del *rail factor*, no se corresponde con la realidad. Generalmente los valores de los atributos de un BHLS no son iguales a los de un LRT equivalente. Aunque es cierto que algunas de estas características son relativamente fáciles de controlar (como el coste del viaje o el trazado de la infraestructura), la mayor diferencia en lo que a nivel de servicio se refiere se da en la capacidad de ambos tipos de transporte: un sistema LRT es un sistema con mayor capacidad que el BHLS, por lo que la frecuencia del servicio suele ser menor (Vuchic, 2007, p. 294). Es por eso que en este escenario simulado se ha considerado un intervalo entre vehículos con un valor mayor para el modo ferroviario que para el sistema de autobús. El valor considerado para este atributo en el LRT es igual al del escenario inicial (y por tanto mayor al del BHLS). Esto afecta al tiempo de espera de forma que para el LRT también se considera el valor de este atributo igual al del escenario simulado bus convencional. En el resto de atributos influyentes del LRT se mantienen los valores del escenario simulado anterior (homogéneo). Por lo tanto los valores de los atributos para el LRT en este escenario realista se obtienen de la siguiente forma:

- Intervalo entre vehículos para LRT: $F_{LRT}(AR) = F_{LRT}(C)$
- Tiempo de espera para LRT: $T_{esp_{LRT}}(AR) = T_{esp_{LRT}}(C)$
- Resto de atributos para LRT:
 - $T_{veh_{LRT}}(AR) = T_{veh_{LRT}}(AH)$
 - $T_{cam_{LRT}}(AR) = T_{cam_{LRT}}(AH)$
 - $C_{LRT}(AR) = C_{LRT}(AH)$
 - $NT_{LRT}(AR) = NT_{LRT}(AH)$
 - $PT_{LRT}(AR) = PT_{LRT}(AH)$

Donde las letras AR aluden a la categoría de transporte público considerada en este escenario simulado y a la denominación del mismo (Categoría A, escenario Realista).

Los valores de los atributos para las alternativas BHLS y coche se mantienen iguales a los del escenario anterior, es decir:

- Atributos del SCI basado en autobús: $X_{BHLS}(AR) = X_{BHLS}(AH)$
- Atributos del coche: $X_c(AR) = X_c(AH)$

6.5.2.4. Resultados obtenidos mediante el enfoque corredor

Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos en la simulación del reparto modal mediante el enfoque corredor para Nantes y Vitoria-Gasteiz.

Simulation Model / Alternative	Conventional Bus		Homogeneous Scenario		Realistic Scenario	
	Car	Bus	BHLS	LRT	BHLS	LRT
MNL13	62.65%	37.35%	69.49% (+32.13%)	70.10% (+32.74%)	69.49% (+32.13%)	67.28% (+29.93%)
ML13(EC)	58.26%	41.74%	68.20% (+26.46%)	68.83% (+27.10%)	68.20% (+26.46%)	66.88% (+25.14%)
ML13t_{1,pt}(RC)	57.56%	42.44%	66.29% (+23.85%)	67.13% (+24.69%)	66.29% (+23.85%)	65.14% (+22.70%)

Tabla 6.29. Cuotas agregadas de las alternativas de transporte público en simulación del enfoque corredor: Nantes

Simulation Model / Alternative	Conventional Bus		Homogeneous Scenario		Realistic Scenario	
	Car	Bus	BHLS	LRT	BHLS	LRT
MNL13	68.59%	31.41%	54.00% (+22.60%)	48.24% (+16.83%)	54.00% (+22.60%)	46.10% (+14.69%)
ML13(EC)	64.30%	35.70%	52.67% (+16.97%)	49.24% (+13.54%)	52.67% (+16.97%)	48.06% (+12.36%)
ML13t_{1,pt}(RC)	59.59%	40.41%	57.81% (+17.40%)	54.03% (+13.61%)	57.81% (+17.40%)	52.62% (+12.21%)

Tabla 6.30. Cuotas agregadas de las alternativas de transporte público en simulación del enfoque corredor:

Vitoria-Gasteiz

De nuevo se aprecian mayores diferencias en función de la tipología de modelo considerado en los repartos obtenidos en la ciudad de Vitoria-Gasteiz.

Independientemente del modelo considerado, apenas se aprecian diferencias en los repartos al considerar BHLS o LRT en el escenario simulado homogéneo en la ciudad de Nantes. Estas diferencias son mayores para la ciudad de Vitoria-Gasteiz, obteniéndose cuotas superiores si se considera la implantación de un BHLS frente a un LRT (del orden de 4-6%). Si se analiza al escenario realista se observa que en ambos casos la captación del LRT es del orden de 1.5-2% menor que en el escenario homogéneo.

En lo referente a la variación relativa de la demanda de transporte, cuyos valores pueden verse en las tablas siguientes, se destaca que de nuevo los resultados obtenidos para Nantes son superiores a los obtenidos en Vitoria-Gasteiz. Esto quiere decir que en Nantes las políticas que tienen que ver con el cambio de categoría de tipo de transporte público, tienen más influencia en la transferencia de viajeros a estas alternativas mejoradas. Además, apenas se observan diferencias en las variaciones relativas observadas entre implantar un BHLS o un LRT en esta localidad.

<i>Simulation</i> <i>Model / Alternative</i>	Homogeneous Scenario		Realistic Scenario	
	BHLS	LRT	BHLS	LRT
MNL13	86.022	87.657	86.022	80.126
ML13(EC)	63.396	64.920	63.396	60.238
ML13t_{1,pt}(RC)	56.199	58.187	56.199	53.497

Tabla 6.31. Porcentaje de variación de la demanda de transporte público en simulación del enfoque corredor:

Nantes

Sin embargo, en Vitoria-Gasteiz el sistema basado en el autobús ofrece una clara ventaja en cuanto a la captación de viajeros frente al modo ferroviario equivalente, aunque esta capacidad relativa de captación de viajeros sigue siendo significativamente inferior a la observada en Nantes para ambas alternativas.

<i>Simulation</i> <i>Model / Alternative</i>	Homogeneous Scenario		Realistic Scenario	
	BHLS	LRT	BHLS	LRT
MNL13	71.950	53.601	71.950	46.773
ML13(EC)	47.518	37.927	47.518	34.626
ML13t_{1,pt}(RC)	43.048	33.690	43.048	30.210

Tabla 6.32. Porcentaje de variación de la demanda de transporte público en simulación del enfoque corredor:

Vitoria-Gasteiz

6.6. Conclusiones

Las principales conclusiones que pueden extraerse del análisis del reparto modal se resumen en los siguientes puntos:

- Los resultados del procedimiento de enumeración muestral indican que en Nantes existen un 15% más de usuarios que eligen transporte público (aproximadamente un 5% escogen el autobús y un 10% el modo ferroviario), independientemente de que se consideren 3 o 2 alternativas disponibles.
- En Nantes el atributo tipo de transporte público tiene una influencia mayor (ya sea positiva o negativa) en el reparto modal que en Vitoria-Gasteiz. Sin embargo, el coste de aparcamiento en destino es más determinante en esta última ciudad de lo que resulta ser en Nantes.
- Es más, generalizando, las políticas que favorecen directamente al transporte público funcionan mejor en Nantes a la hora de captar viajeros, mientras que en Vitoria-Gasteiz la penalización del coche es más determinante.
- La mayor elasticidad en valor absoluto es la elasticidad directa respecto al tiempo de viaje, por lo que con el cambio porcentual unitario de este atributo se

obtendrá mayor captación que con el cambio en el resto de atributos. Esto no se ve reflejado en las políticas debido al porcentaje absoluto de variación de atributos que se considera en las mismas: mientras que en la política 2 el tiempo de viaje en transporte público y el coste del mismo se reduce un 20% y un 25%, respectivamente, el coste de aparcamiento aumenta un 61-83% en la sub-política 3.1 y un 91-125% en la sub-política 3.2 en Nantes y Vitoria-Gasteiz, respectivamente. Esto implica porcentajes de variación mayores en la proporción de viajeros de transporte público para al menos la última política, independientemente del modelo, localización y alternativa considerados.

- Mediante la simulación de la población se obtienen resultados que se sitúan en la misma línea que los anteriores, pero además es posible analizar las diferencias entre un enfoque puramente teórico (y difícilmente presentable en la realidad) y otro más realista, en el que se considera la sustitución de un sistema de autobús convencional por un SCI. Los resultados reflejan que Nantes es una ciudad más proclive al empleo del transporte público, y en concreto a los modos ferroviarios, que Vitoria-Gasteiz. Sin embargo, si se analiza la preferencia de los encuestados entre BHLS y LRT no puede decirse que exista un *rail factor* en ningún caso (incluso podría decirse que si existe alguna preferencia, esta sería por el BHLS y los modos basados en autobús en general, en la ciudad de Vitoria-Gasteiz).
- Por último, y una vez se ha manifestado la importancia del contexto en este estudio, merece la pena destacar la gran influencia en la predicción de la demanda de la tipología de modelo de elección empleado en la prognosis. De forma general puede afirmarse que con modelos MNL se obtienen incrementos en la demanda del transporte público superiores (ya sean absolutos o relativos), que los obtenidos mediante modelos de tipo ML (y especialmente con el modelo ML13-t1,pt(RC)). Los modelos del tipo ML se consideran superiores como modelos predictivos, y en concreto el modelo ML13-t1,pt(RC) es el más recomendable para este fin en el caso que nos ocupa. Puede concluirse que en este tipo de estudios es más adecuado el empleo de modelos sofisticados, ya que los resultados pueden variar de forma apreciable. Los modelos MNL tienden a sobreestimar la demanda esperada, por lo que si se emplean en la fase previa a la implantación de un sistema SCI para predecir la demanda como parte de la justificación en la elección del tipo de SCI, es probable que las expectativas creadas en cuanto a la captación de viajeros difícilmente se cumplan tras la implantación del mismo.

CAPÍTULO 7

Conclusiones y líneas de investigación futura

7.1. Conclusiones

Aunque en cada uno de los capítulos de esta tesis se presenta un apartado con las conclusiones correspondientes al contenido expuesto en cada uno de ellos, a continuación se realiza un resumen de los aspectos más importantes que están relacionados con las principales conclusiones que pueden extraerse de esta investigación.

De forma previa merece la pena destacar que las principales conclusiones relacionadas con la existencia y valoración de un posible *rail factor*, se realizan a raíz de los resultados obtenidos en la estimación de modelos y del posterior análisis del reparto modal mediante la simulación de poblaciones. Estas conclusiones, que son las extraídas de los capítulos 5 y 6 respectivamente, serán las que se analizan en este capítulo, siendo las conclusiones mostradas en los capítulos anteriores parte de un análisis de la literatura relacionada y del desarrollo de la metodología elegida para analizar el fenómeno objeto de estudio en este caso en concreto.

En cuanto al procedimiento de estimación de modelos (capítulo 5), puede afirmarse que se trata de una de las fases de la investigación de mayor relevancia científica. La principal conclusión relativa a la existencia del *rail factor* que puede hacerse atendiendo a los valores y significación estadística de las ASC, es que no puede afirmarse que exista un *rail factor* “universal”. Es decir, no existe esta preferencia inherente hacia modos ferroviarios frente al autobús para todas las localizaciones, experimentos y escenarios considerados. Sin embargo es conveniente hacer una serie de observaciones en función de estos aspectos debido a las diferencias existentes en los resultados correspondientes:

- ESCENARIO A: Cuando solamente se considera el autobús y el modo ferroviario como disponibles, se obtienen grandes diferencias en la significatividad de la ASC del modo ferroviario (*ASC3*) en función del experimento considerado. Para el experimento 2 solamente se presentan como

significativas las ASC obtenidos en Valenciennes y en A Coruña, mientras que para el experimento 1 las ASC son significativas en todas las localizaciones estudiadas a excepción de Nantes. Por lo tanto, parece que la inclusión del atributo tipo de transporte público como influyente en la modelización, afecta a la percepción de las alternativas de transporte público por parte de los encuestados, influyendo los factores no observados sobre la elección de forma significativa. Una posible interpretación de estos resultados podría ser que cuando los encuestados se enfrentan al experimento 2, en el que el tipo de transporte público no está definido, cada uno se hace una idea propia de la calidad del servicio que cada modo puede presentar. Por eso la variabilidad en la preferencia hacia uno u otro modo es mayor, no siendo significativo el valor de las ASC. Sin embargo, en el experimento 1 esa calidad está definida mediante el citado atributo, por lo que las implicaciones del término “igualdad de condiciones” son más similares entre individuos en este caso. Este hecho implica una menor variabilidad en la preferencia hacia uno u otro modo, que está representada a través de la significación estadística de las ASC en este caso. Tampoco debe olvidarse que las muestras consideradas para los 2 experimentos son diferentes, lo que debe ser tenido en cuenta a la hora de analizar las afirmaciones realizadas.

En las ciudades francesas la alternativa preferida sería la ferroviaria ($ASC3 > 0$) mientras que en las ciudades españolas se trataría del autobús ($ASC3 < 0$). Por lo tanto el contexto de estudio influye notablemente en los modelos obtenidos, lo que se pone de manifiesto en el hecho de que la variable experiencia previa con la red de transporte público PR tenga una capacidad explicativa en los modelos de ciudades españolas que es muy superior a la de los modelos en ciudades francesas (LR en el orden del 80-95% en España y del 10-70% en Francia). En cualquier caso los resultados de los test de razón de máxima verosimilitud no indican que estos modelos mejoren a los de referencia, aunque este hecho puede ser un indicador válido de la importancia del contexto.

- ESCENARIO B: Cuando se incluye la alternativa coche como disponible para el desplazamiento PD, en primer lugar destaca que independientemente del experimento considerado parece existir una correlación entre alternativas de transporte público ($\lambda_{nestpt} \neq 1$ para los modelos NL de todas las localizaciones excepto Nantes en el experimento 2 y Vitoria-Gasteiz en el experimento 1).

En este caso, y para analizar la existencia del *rail factor*, no es tan interesante el hecho de que las ASC de los modos de transporte público sean significativamente distintas de cero, como que puedan ser diferentes entre sí

(es decir, que $ASC2 \neq ASC3$). Para modelos ML estimados con observaciones del experimento 2 esto es así solamente para las ciudades españolas (A Coruña y Vitoria-Gasteiz), apreciándose que existe una preferencia hacia el autobús frente al modo ferroviario ($ASC2 > ASC3$). Si se consideran los modelos tipo ML del experimento 1 sucede lo mismo para las ciudades españolas, pero en este caso además se obtienen ASC significativamente distintas entre sí para las ciudades de Valenciennes y Clermont-Ferrand. Cabe destacar que para estas ciudades francesas la preferencia se da hacia el modo ferroviario ($ASC2 < ASC3$), lo que de nuevo pone de manifiesto la importancia del contexto estudiado. Por último, y generalizando, se observa en los modelos en los que se estima la variabilidad aleatoria asociada a las ASC (modelos MLref-ASC(RC)), que existe una menor variabilidad entre los encuestados respecto a la influencia en la elección de los factores no observados de la alternativa autobús (σ_{ASC2}) respecto a la variabilidad de los factores no observados del resto de alternativas, siendo el coche el modo al que se asocia la mayor variabilidad en todas las localizaciones (σ_{ASC1}).

Continuando con las conclusiones de la estimación de modelos, ya se ha visto la importancia del experimento considerado en la modelización del rail factor. De hecho, se observan diferencias importantes entre las diferentes localizaciones en la forma en la que podría introducirse el atributo tipo de transporte público como atributo influyente en la elección. Solamente en la ciudad de Nantes la “categoría A” (transporte de mayor calidad) podría ser candidata a considerarse como específica para las alternativas de transporte público, independientemente del escenario y tipología de modelo considerados. Lo mismo sucede para los modelos de la ciudad de Vitoria-Gasteiz excepto para los modelos tipo NL. Esto podría indicar que la influencia de esta categoría en la elección, y por lo tanto en la imagen percibida del transporte público, varía en función de la alternativa de transporte público considerada (autobús o ferroviaria). Resulta llamativo que esto solamente ocurra en estas 2 ciudades, seleccionadas como objeto principal de la comparación en la investigación, consideradas ejemplos de la implantación exitosa de redes de transporte público en ciudades de tamaño intermedio, y nombradas *European Green Capital* en años consecutivos. En el resto de ciudades, tanto francesas como españolas, el considerar el coeficiente correspondiente a esta categoría como específico no aporta beneficios significativos respecto a su especificación como genérico, es decir, los usuarios perciben la misma imagen de cada categoría independientemente de la alternativa considerada.

En cuanto a las variables de la sección PR de la encuesta incluidas en la estimación de modelos, puede apreciarse que la tipología de transporte elegida para el desplazamiento PR aporta mayor capacidad explicativa sobre la variación expresada por los datos, y por lo tanto sobre el propio fenómeno estudiado, que la experiencia previa con la red de transporte público PR. Generalizando, las categorías del tipo de transporte PR afectan a la elección PD de la siguiente forma:

- Transporte no motorizado: estos usuarios prefieren el transporte público frente al coche, aportando los coeficientes de esta categoría más utilidad a los modos ferroviarios que al autobús.
- Transporte privado: cuando el coche está disponible para el ejercicio PD (escenario B), este es la alternativa preferida ($\beta_{ch2,i} > 0$). Para el escenario A el coeficiente asociado penaliza más al autobús en las ciudades francesas, y al modo ferroviario en las ciudades españolas.
- Transporte público sobre neumáticos: los usuarios de este transporte para el desplazamiento prefieren un transporte público frente al coche para realizar sus desplazamientos, siendo el autobús el modo de transporte público más valorado en el ejercicio PD. En cualquier caso, también se valora positivamente el modo ferroviario PD.
- Transporte público ferroviario: de nuevo los usuarios de este transporte para el desplazamiento prefieren un transporte público frente al coche para realizar sus desplazamientos, aunque en este caso la alternativa más valorada depende del contexto considerado. Mientras que en las ciudades francesas es el modo ferroviario ($\beta_{ch4,3} > \beta_{ch4,2}$), en las ciudades españolas la utilidad del autobús es la más beneficiada por este coeficiente ($\beta_{ch4,2} > \beta_{ch4,3}$).

Para finalizar con las conclusiones correspondientes a la estimación de modelos se destacan 2 de los casos particulares de estudio, en los que los resultados obtenidos suponen una evidencia de que la percepción de la imagen del transporte público existente en una ciudad depende de un gran número de factores:

- Caso de la ciudad de A Coruña y la etiqueta “tranvía” frente a “metro ligero”:
Ha podido constatarse que un simple cambio de etiqueta en el modo ferroviario del ejercicio PD puede acarrear grandes diferencias en la imagen del transporte público que es percibida por los usuarios, aun en el caso de que todas las variables influyentes permanezcan con los mismos valores. Esto puede ser debido a que el nombre o etiqueta asociada a cada una de las alternativas supone por sí misma una fuente de información para cada uno de los encuestados, que está almacenada en la memoria a largo plazo.

En el estudio realizado en la ciudad de A Coruña puede apreciarse este efecto. Al cambiar la etiqueta mostrada en el ejercicio PD para el modo ferroviario (pasa a ser “metro ligero” cuando en una primera encuesta era “tranvía), la probabilidad de elección del modo ferroviario en igualdad de condiciones con el autobús aumenta de aproximadamente un 8%.

- Caso de la ciudad de Lille y la coexistencia de SCI con el VAL:

La presencia del VAL en Lille influye en la percepción que los encuestados de esta ciudad tienen acerca de los modos ferroviarios.

Se aprecia que en la elección entre y modo ferroviario (escenario A), los usuarios que eligen VAL en su desplazamiento PR son más partidarios de elegir el modo ferroviario PD que los encuestados que eligieron LRT como modo PR. Sin embargo cuando se introduce la alternativa coche como disponible (escenario B) sucede lo contrario, y los usuarios de LRT son más favorables al modo ferroviario PD que los usuarios de VAL. Este efecto puede ser consecuencia de que las características de los desplazamientos realizados por los usuarios del VAL (longitud de la ruta, tiempo de viaje, ubicación del origen, etc.), sean más apropiadas para un desplazamiento en coche que para realizar el viaje en transporte público tipo LRT, lo que supone una penalización mayor para el modo ferroviario PD y una preferencia por el coche por parte de estos usuarios.

Para finalizar se describen las conclusiones que pueden extraerse del análisis comparativo del reparto modal realizado en las ciudades de Nantes y Vitoria-Gasteiz, que fueron tomadas como referente para la presente investigación (capítulo 6). De forma previa a la comparación de los 2 contextos es importante destacar que la tipología de modelo empleado en la predicción de la demanda tiene una gran influencia en los resultados obtenidos. Con modelos del tipo MNL se obtienen generalmente cuotas de demanda de transporte público que están sobreestimadas, lo que puede suponer un gran problema en procesos de planificación. Los modelos ML se consideran superiores en este caso como modelos predictivos. En concreto, un modelo en el que se permiten correlaciones entre observaciones de un mismo individuo, además de estimar la variación en los gustos de los individuos asociada a los coeficientes del atributo tiempo de viaje para las distintas alternativas (modelo ML13-t1,pt(RC)), es el que ha resultado como superior para representar el fenómeno estudiado en este caso.

En cuanto a los atributos que tienen una mayor influencia en la elección de modo de transporte, puede afirmarse que este aspecto depende del contexto estudiado. Mientras que en Nantes el tipo de transporte público es el más determinante, en Vitoria-Gasteiz el coste de aparcamiento en destino tiene un peso mayor en la elección de modo, y por tanto afecta en mayor medida a la captación de viajeros. De hecho, de entre las políticas planteadas en la simulación se ha comprobado que aquellas que están destinadas a favorecer directamente el uso del transporte público ofrecen mejores resultados en Nantes, mientras que en Vitoria-Gasteiz se obtienen mejoras mayores en la captación de viajeros mediante la penalización del coche (aumentado el coste de aparcamiento en destino).

Por último, en lo que respecta a la simulación de poblaciones, puede verse que Nantes es una ciudad más proclive al empleo del transporte público, y en concreto a los modos ferroviarios, que Vitoria-Gasteiz. Sin embargo, si se analiza la preferencia de los encuestados entre BHLS y LRT no puede decirse que exista un *rail factor* para ninguna de las 2 ciudades, es más, incluso puede decirse que existe cierta preferencia por el BHLS y los modos basados en autobús en la ciudad de Vitoria-Gasteiz (que por analogía con el fenómeno estudiado, podría denominarse *bus factor* o *non-rail factor*).

7.2. Respondiendo a las preguntas de investigación

En el capítulo 1 de la presente tesis se plantearon una serie de preguntas desagregadas de investigación. Con estas preguntas se pretendía dividir la pregunta principal de investigación en distintos apartados con temáticas diferentes, de forma que respondiendo a cada una de ellas se determinase el objeto último de esta tesis. Esta pregunta principal era la siguiente:

¿Existe una preferencia inherente hacia los modos de transporte ferroviarios frente al autobús en el ámbito de los sistemas de transporte de capacidad intermedia? Si es así, ¿cómo influye en este fenómeno la imagen percibida de las alternativas de transporte público por parte de los usuarios? Por último, ¿cuál es la repercusión de este fenómeno, denominado *rail factor*, en la capacidad de captación de viajeros de los sistemas de transporte público cuando se mejora el sistema existente o se implanta un sistema nuevo?

A continuación se dará respuesta cada una de estas preguntas desagregadas de forma simplificada, ya que la justificación detallada de las respuestas dadas puede encontrarse en las conclusiones expresadas en cada uno de los capítulos de la tesis:

¿Qué conclusiones se extraen de la literatura consultada referente al rail factor?

Es un tema que ha generado mucha controversia, y con resultados contradictorios en algunos casos. En general puede decirse que las fuentes estudiadas no concluyen que exista un *rail factor* generalizado, ya que cuando se detecta alguna preferencia por el modo ferroviario esta suele ir asociada a un tipo de usuario, con una experiencia concreta en sus desplazamientos, con un motivo de viaje diferenciado, etc.

¿Cuál es la metodología o las metodologías que parecen más adecuadas para comprobar la existencia del rail factor y cuantificarlo?

Teóricamente sería deseable aplicar los 3 principales métodos de estudio (estudios antes-después, modelización de la demanda y consideración de aspectos psicológicos), realizando entrevistas en profundidad en ciudades de tamaño intermedio, estudios de diferenciación semántica y análisis factorial para determinar los factores racionales/emocionales más influyentes y encuestas de elección o jerarquización con datos de PD y PR en las que se combinen estas variables con otros atributos de nivel de servicio. Este procedimiento resultaría más esclarecedor si puede realizarse de forma previa y posterior a la implantación de un nuevo sistema de transporte.

En la práctica esto es muy difícil, debido sobre todo a los recursos que una investigación de este tipo implicaría. En esta tesis se empleó un enfoque basado en la modelización de la demanda mediante un ejercicio de elección PD, y considerando de forma conjunta *hard factors* y factores psicológicos y racionales para representar la imagen del transporte público que es percibida por los usuarios.

¿Cuáles son los principales atributos influyentes en la imagen que perciben los usuarios de los diferentes sistemas de transporte público?

Debe cuidarse especialmente el valor de 3 indicadores fundamentales: la puntualidad (o regularidad/fiabilidad del sistema), la frecuencia y la velocidad del servicio. Para lograr unas buenas prestaciones en estos factores es imprescindible disponer de una plataforma reservada que esté diseñada y equipada apropiadamente. Otro de los factores que es determinante es la facilidad de uso, que se refiere a aspectos tales como el empleo de dispositivos de información en tiempo real en vehículos y paradas,

la identificación de la línea desde el interior y exterior de los vehículos, una frecuencia tal que no es necesario conocer los horarios, “imagen de marca”, etc.

¿Existe el *rail factor*? ¿Qué peso tiene en la capacidad de captación de viajeros?

De forma general, y entendido como una preferencia inherente hacia los modos ferroviarios frente a un autobús equivalente, la respuesta es no. Los resultados obtenidos así lo indican, aunque debe matizarse que la elección de uno u otro modo está influenciada por múltiples factores: experimento, escenario, tipo de modelo de reparto considerado, tipo de especificación de modelo analizada, etc.

En cualquier caso, si tiene que hacerse alguna afirmación respecto a la existencia de una preferencia inherente hacia algún modo de transporte público, puede decirse que para las ciudades españolas estudiadas (A Coruña y Vitoria-Gasteiz) existe una especie de *bus factor*, es decir, una preferencia hacia el autobús frente a un modo ferroviario equivalente. Este efecto es mucho más marcado en la ciudad de A Coruña que en la de Vitoria-Gasteiz. El “peso” de este *bus factor* en la capacidad de captación depende de distintos factores, de forma similar a como se ha expresado anteriormente. Por ejemplo, para modelos MNL del experimento1/escenario B, esto se traduce en una probabilidad de elegir autobús de 54.81% (frente al 45.19% de probabilidad de elegir un modo ferroviario equivalente). Si se atiende a la simulación de poblaciones mediante modelos ML más complejos, se observa que en el enfoque corredor la diferencia entre implantar un BHLS y un LRT es de entre 4-6% para el escenario homogéneo (igualdad de condiciones) y un 1-2% para el escenario realista (donde BHLS y LRT no tienen los mismos valores de nivel de servicio).

¿Cómo afecta el contexto del proyecto al *rail factor*?

Como ya se ha dicho el contexto de estudio es determinante a la hora de valorar las preferencias por una u otra alternativa de transporte público.

¿Cuál es la influencia en el *rail factor* de atributos característicos del transporte público tales como el grado de plataforma reservada, la información suministrada a los usuarios y la fiabilidad en los horarios?

Este aspecto se estudia mediante el atributo tipo de transporte público. De nuevo depende de forma importante del contexto, siendo las ciudades de Vitoria-Gasteiz y Nantes donde más afecta al reparto modal. En ambos casos el aumento en la capacidad de captación de viajeros no es simétrico, es decir, se valora mucho más positivamente que el transporte disponga de “categoría A” de lo que se valora

negativamente que al transporte le corresponda una “categoría C”. Además, en función de la ciudad considerada se observan algunas diferencias: mientras que pasar de transporte público convencional (categoría C) a un LRT o un BHLS (categoría A) supone un incremento de la cuota de 12-17% en Nantes, en Vitoria-Gasteiz este incremento es algo menor (de 9-13%).

¿Cómo afecta el *rail factor* a la capacidad de captación de viajeros no cautivos?

Los viajeros no cautivos de transporte público son aquellos que tienen disponible el coche para su desplazamiento. Estos usuarios suelen preferir emplear el coche frente a cualquier tipo de transporte público si este está disponible. Sin embargo, si tienen que elegir forzosamente entre un autobús y un modo ferroviario equivalente, se aprecian diferencias en función del contexto de estudio. De forma general la influencia de la categoría “modo privado PR” no es significativa para modelos del escenario A, pero atendiendo a los signos del parámetro correspondiente puede decirse que este penaliza la elección de modo ferroviario en las ciudades españolas, mientras que en las ciudades francesas depende del experimento considerado (aunque generalmente sucede lo contrario, es decir, favorece la elección de modo ferroviario).

¿El grado de conocimiento de los sistemas de transporte público presentes en la red tiene influencia en el valor del *rail factor*?

Generalizando, la respuesta es no. De hecho, el tipo de transporte elegido en el desplazamiento PR se ha mostrado como más determinante en la capacidad explicativa sobre el fenómeno que se asocia a los modelos estimados. En cualquier caso esto no quiere decir que la experiencia previa en general de cada encuestado no sea importante, ya que este grado de conocimiento de la red de transporte público se captó como una percepción de los propios encuestados. Además, lo que sí parece demostrado es que el contexto de estudio sí es influyente, y esto implica que existen factores comunes a la muestra de individuos pertenecientes a cada localización que aportan información sobre las preferencias de esa población en concreto.

7.3. Líneas de investigación futura

A raíz del trabajo desarrollado en la presente tesis se han quedado abiertas una serie de líneas para la investigación futura, las cuales se describen a continuación:

- Estudio de modelos en los que se plantean especificaciones de la utilidad en las que se considere el efecto de las interacciones entre atributos.

- Estimaciones de modelos realizadas con funciones de utilidad no lineales en los parámetros.
- Introducción de variables socioeconómicas de diferentes tipologías en la especificación de la utilidad de las alternativas. Además, puede combinarse esta línea con las 2 anteriores, estimando las interacciones entre estas variables y otros atributos de nivel de servicio, o los efectos de la especificación no lineal de estas variables socioeconómicas (es habitual en modelización de la demanda emplear el “coste/ingreso”).
- Consideración de otras variables psicológicas y aspectos racionales que influyen en la elección de modo, a través de diseños experimentales más complejos que permitan la captación de los efectos de un mayor número de atributos y niveles de los mismos.
- Estimación de modelos diferentes para muestras en las que se tenga en cuenta individuos con un mismo conocimiento del sistema de transporte público PR.
- Del mismo modo sería interesante plantearse modelos diferentes en los que solamente se incluyan individuos que eligen un tipo de transporte PR, es decir, un modelo distinto para los individuos que pertenecen a cada categoría de este atributo (usuarios de transporte no motorizado, privado, público sobre neumáticos y público ferroviario).
- Empleo de distribuciones diferentes a la distribución normal como distribución de mezcla en los modelos de tipo ML, para representar la variación aleatoria de los coeficientes estimados mediante estos modelos.
- Estimación de modelo ML en su especificación como coeficientes aleatorios (RC) en los que se consideren de forma conjunta la variación aleatoria de varios coeficientes asociados a distintos atributos (por ejemplo tiempo y coste de forma simultánea, u otros coeficientes que resulten ser significativamente influyentes).
- Modelización conjunta de las variaciones en los gustos de los individuos y de la posible correlación entre alternativas de transporte público. Esto es equivalente a estimar modelos en los que se introduzcan de forma simultánea las estructuras de error de los modelos logit mixto de las tipologías ML(EC) y MLx(RC).
- De forma similar a la anterior, pueden realizarse estimaciones de modelos en los que se especifiquen simultáneamente la heteroscedasticidad en la

percepción de la etiqueta (σ_{ASC}) y la heterogeneidad en los gustos de algún atributo (σ_X).

- Por último, la ampliación de este estudio concreto de la existencia del *rail factor* puede darse directamente mediante varias formas de actuación:
 - Ampliando el ámbito de estudio a otros tipos de transporte y no limitándolo a los SCI, es decir, comparando sistemas equivalentes de distinta capacidad (autobús convencional frente a tranvía, BRT frente a ferrocarril de cercanías, etc.).
 - Realizando un estudio que siga los pasos teóricamente deseables según el capítulo 2, es decir, empleando los 3 métodos conocidos para este tipo de investigación (ante-después, modelización de la demanda y aspectos psicológicos). Además, podrían incluirse otros métodos tales como el *cluster analysis*.
 - Por supuesto, ampliando el número de localizaciones estudiadas, empleando muestras de ciudades pertenecientes a otros países, incluyendo otras poblaciones objeto de estudio que sean diferentes de la comunidad universitaria, etc. En definitiva, se trata de generar un mayor conocimiento en torno a este fenómeno que permita generalizar los resultados en la mayor medida posible.

Bibliografía

- Anta, J., Novales, M., Conles, E. & Orro, A. (2014). Diseños experimentales eficientes: revisión metodológica y aplicación a un caso de estudio para la captación de viajeros en sistemas de transporte metropolitano de capacidad intermedia. *XVIII Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística*. 11-13 de junio de 2014. Santander, España.
- Anta, J., Pérez-López, J.B., Martínez-Pardo, A., Novales, M. & Orro, A. (2016). Influence of weather over mode choice in corridors with time varying congestion: A mixed data study. *Transportation*, 43(2), 337-355.
- Anta, J., Silva, A., Pérez, J.B. & Orro, A. (2012). Posibles efectos de la meteorología en la elección de modo de transporte: estudio en preferencias declaradas. *X Congreso de Ingeniería del Transporte*. 20-22 de junio de 2012. Granada, España.
- Axhausen, K. W., Haupt, T., Fell, B. & Heidl, U. (2001). Searching for the rail bonus: Results from a panel SP/RP study. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 1(4), 353-369.
- Bates, J.J. (1988). Econometric issues in stated preference analysis. *Journal of Transport Economics and Policy*, XXII, 59-69.
- Batley, R. & Daly, A. (2004). *Is elimination-by-aspects a random-utility-maximising model?* Paper presented at the Centre for Decision Research Seminars (B. Summers, Chair), Leeds University Business School, Leeds, UK, January 2004.
- Bhat, C.R. (2000). Incorporating observed and unobserved heterogeneity in urban work travel mode choice modeling. *Transportation Science*, 34(2), 228-238.
- Beirão, G., & Sarsfield, J.A. (2007). Understanding attitudes towards public transport and private car: A qualitative study. *Transport Policy*, 14(6), 478-489.
- Ben-Akiva, M. & Bolduc, D. (1996). Multinomial probit with a logit kernel and a general parametric specification of the covariance structure. *Working paper*, Massachusetts Institute of Technology.
- Ben-Akiva, M. & Lerman, S.R. (1985). *Discrete Choice Analysis - Theory and Application to Travel Demand*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Ben-Akiva, M. & Morikawa, T. (2002). Comparing ridership attraction of rail and bus. *Transport Policy*, 9(2), 107-116.

- Best, S.J. & Radcliff, B. (2005). *Polling America: An Encyclopedia of Public Opinion*. Westport Connecticut: Greenwood Press.
- Bierlaire, M. (2003). BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models. *Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference*. Ascona, Switzerland.
- Bliemer, M.C.J. & Rose, J.M. (2010). Construction of experimental designs for mixed logit models allowing for correlation across choice observations. *Transportation Research Part B*, 44(6), 720-734.
- Bliemer, M.C.J. & Rose, J.M. (2011). Experimental design influences on stated choice outputs: An empirical study in air travel choice. *Transportation Research Part A*, 45(1), 63-79.
- Bliemer, M.C.J., Rose, J.M. & Hensher, D.A. (2009). Efficient stated choice experiments for estimating nested logit models. *Transportation Research Part B*, 43(1), 19-35.
- Bliemer, M.C.J., Rose, J.M. & Hess, S. (2008). Approximation of Bayesian efficiency in experimental choice designs. *Journal of Choice Modelling*, 1(1), 98-127.
- Bradley, M. (2009). Important Stated Preference Experimental Design Issues in Recent Transportation Applications. *Transport Reviews*, 29(5), 657-663.
- Bradley, M. & Kroes, E.P. (1990). Simultaneous analysis of stated preference and revealed preference information. *Proceedings 18th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Sussex, England, September 1990.
- Bunschoten, T. (2012). *To tram or not to tram: Exploring the existence of the tram bonus*. Graduation thesis, Delft University of Technology.
- Carrasco, J.A. & Ortúzar, J. de D. (2002). Review and assessment of the nested logit model. *Transport reviews*, 22(2), 197-218.
- Cascetta, E. (2001). *Transportation systems engineering: theory and methods* (Vol. 49). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports l'Urbanisme et les constructions publiques (CERTU, 2009). *Tranvía y bus de alto nivel de servicio (BANS) en Francia: campos de pertenencia en zona urbana*. Movilidad y Transportes: Panorama, ficha nº12, Noviembre 2009. Recuperado de: <http://www.certu.fr>
- Cherchi, E. & Ortúzar, J. de D. (2004). Random effect vs. error component in the Mixed Logit model: correlation, heteroscedasticity and taste variations. *10th World Congress on Transport Research*. 4-8 de julio de 2004. Istanbul, Turkey.
- Cherchi, E. & Ortúzar, J. de D. (2006). On fitting mode specific constants in the presence of new options in RP/SP models. *Transportation Research Part A*, 40(1), 1-18.

- Cherchi, E. & Ortúzar, J. de D. (2008). Empirical Identification in the Mixed Logit Model: Analysing the Effect of Data Richness. *Networks and Spatial Economics*, 8(2-3), 109-124.
- Chiou, L. & Walker, J. (2007). Masking identification of discrete choice models under simulation methods. *Journal of Econometrics*, 141(2), 683-703.
- Choice Metrics. (2012). Ngene, Sydney.
- Colegio de Ingenieros de Camino, Canales y Puertos, CICCPC. (2009). *Tranvitrén y tren-tranvía: Hacia una mejora del aprovechamiento de las infraestructuras ferroviarias*. Comisión de Transportes, Cuaderno nº6, Septiembre 2009.
- Conles, E., Novales, M., Orro, A. & Anta, J. (2014). Buses with high level of service in Nantes, France: characteristics and results of the busway compared with light rail transit. *Transportation Research Record*, 2418, 66-73. DOI: 10.3141/2418-08
- Cook, R.D. & Nachtsheim, R.J. (1980). A comparison of algorithms for constructing exact D-Optimal Designs. *Technometrics*, 22(3), 315-324.
- Corbetta, P. (2007). *Metodología y técnicas de investigación social*. Madrid: McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A.U.
- Daganzo, C.F. (1979). *Multinomial Probit: The Theory and Its Application on Demand Forecasting*. New York: Academic Press Inc.
- Daly, A. (1987). Estimating "tree" logit models. *Transportation Research Part B*, 21(4), 251-268.
- Daly, A.J. & Zachary, S. (1978). Improved multiple choice models. En D.A. Hensher & M.Q. Dalvi (eds.), *Determinants of travel choice* (pp. 335-357). Westmead: Saxon House.
- Dell'Ollio, L., Ibeas, A. & Cecín, P. (2011a). The quality of service desired by public transport users. *Transport Policy*, 18(1), 217-227.
- Dell'Ollio, L., Ibeas, A., Cecín, P. & Dell'Ollio, F. (2011b). Willingness to pay for improving service quality in a multimodal area. *Transportation Research Part C*, 19(6), 1060-1070.
- Dell'Ollio, L., Ibeas, A., Domínguez, A. & González, F. (2012). Passenger preference analysis: light rail transit or bus versus car. *Transport*, 27(3), 276-285.
- Domencich, T. & McFadden, D. (1972). *A Disaggregated Behavioral Model of Urban Travel Demand* (Report No. CRA-156-2). Cambridge, Massachusetts: Charles Rivers Associates, Inc.
- Domencich, T. & McFadden, D. (1975). *Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis*. Amsterdam: North-Holland Publishing Co. Recuperado en: <http://eml.berkeley.edu/~mcfadden/travel.html>

- Dziekan, K. (2007). *Learning an unfamiliar public transport system: An in-depth study from the user perspective in Stockholm* (TRITA-TEC-RR 07-004). Stockholm: Royal Institute of Technology.
- Dziekan, K. (2008). *Ease-of-Use in Public Transportation – A User Perspective on Information and Orientation Aspects*. Doctoral Thesis in Traffic and Transport Planning, Infrastructure and Planning, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Eboli, L. & Mazzulla G. (2008). A Stated Preference Experiment for Measuring Service Quality in Public Transport. *Transportation Planning and Technology*, 31(5), 509-523.
- Espino, R. (2003). *Análisis y predicción de la demanda de transporte de pasajeros. Una aplicación a dos corredores de transporte de Gran Canaria*. Tesis doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Espino, R., Ortúzar, J. de D. & Román, C. (2004). Diseño de preferencias declaradas para analizar la demanda de viajes. *Estudios de Economía Aplicada*, 22(3), 759-793.
- Espino, R., Ortúzar, J. de D. & Román, C. (2007). Understanding suburban travel demand: Flexible modelling with revealed and stated choice data. *Transportation research Part A*, 41(10), 899 -912.
- Espino, R., Román, C. & Ortúzar, J. de D. (2006). Analysing demand for suburban trips: A mixed RP/SP model with latent variables and interaction effects. *Transportation*, 33(3), 241-261.
- Fan, Y., Guthrie, A. & Levinson, D. (2012). Impact of light rail implementation on labor market accessibility: A transportation equity perspective. *Journal of transport and land use*, 5(3), 28-39.
- Finn, B., Heddebaut, O., Kerkhof, A., Rambaud, F., Sbert-Lozano, O. & Soulas, C. (eds.) (2012). Buses with High Level of Service. Final Report. *European Cooperation in Science and Technology (COST)*, nº TU0603. Recuperado de: <http://www.cost.eu>
- Flynn, T. N., Louviere, J.J., Peters, T.J. & Coast, J. (2007). Best-worst scaling: What it can do for health care research and how to do it. *Journal of Health Economics*, 26(1), 171-189.
- Green P.E. & Srinivasan, V. (1978). Conjoint analysis in consumer research: Issues and Outlook. *Journal of Consumer Research*, 5(2), 103-123.
- Green P.E. & Srinivasan, V. (1990). Conjoint analysis in marketing research: New developments and directions. *Journal of Marketing*, 54(4), 3-19.

- Heddebaut, O., Finn, B., Rabuel, S. & Rambaud, F. (2010). The European Bus with a High Level of Service (BHLS): Concept and Practice. *Built Environment*, 36(3), 307-316.
- Hensher, D.A. (1994). Stated preference analysis of travel choices - the state of practice. *Transportation*, 21(2), 107-133.
- Hensher, D.A. (2007). Sustainable public transport systems: Moving towards a value for money and network-based approach and away from blind commitment. *Transport Policy*, 14(1), 98-102.
- Hensher, D.A. & Greene, W.H. (2011). Valuation of Travel Time Savings in WTP and Preference Space in the Presence of Taste and Scale Heterogeneity. *Journal of Transport Economics and Policy*, 45(3), p. 505-525.
- Hensher, D.A., Ho, C. & Mulley, C. (2015). Identifying preferences for public transport investments under a constrained budget. *Transportation Research Part A*, 72, 27-46.
- Hensher, D.A. & Rose, J.M. (2007). Development and non-commuter mode choice models for the assessment of a new transport infrastructure projects: A case study. *Transportation Research Part A*, 41(5), 428-443.
- Hensher, D.A., Rose, J.M. & Greene, W.H. (2005). *Applied Choice Analysis: A Primer*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hensher, D.A. & Stopher, P.R. (Eds.) (1979). *Behavioral Travel Modelling*. Londres: Croom Helm.
- Hensher, D.A., Stopher, P. & Bullock, P. (2003). Service quality - developing a service quality index in the provision of commercial bus contracts. *Transportation Research Part A*, 37(6), 499-517.
- Hess, S., Bierlaire, M. & Polak, J.W. (2005). Estimation of value of travel-time savings using mixed logit models. *Transportation Research Part A*, 39(2-3), 221-236.
- Hess, S., Hensher, D.A. & Daly, A. (2012). Not bored yet - Revisiting respondent fatigue in stated choice experiments. *Transportation Research Part A*, 46(3), 626-644.
- Hess, S. & Rose, J.M. (2009). Allowing for intra-respondent variations in coefficients estimated on repeated choice data. *Transportation Research Part B*, 43(6), 708-719.
- Huber, J. & Zwerina, K. (1996). The Importance of Utility Balance in Efficient Choice Designs. *Journal of marketing Research*, 33(3), 307-317.
- Hylén, B. & Pharoah, T. (2002). Making Tracks -Light Rail in England and France. *The Swedish National Road and Transport Research Institute, VTI meddelande 926A*. Linköping, Sweden.

- James, D. (2008). *Ottawa's Transitway: From Busway to Light Rail*. Master's Degree Project, University of Calgary.
- Jou, R., Hensher, D.A., Liu, Y. & Chiu, C. (2010). Urban Commuters' Mode-switching Behaviour in Taipei, with an Application of the Bounded Rationality Principle. *Urban Studies*, 47(3), 650-665.
- Kanninen, B.J. (2002). Optimal Design for Multinomial Choice Experiments. *Journal of Marketing Research*, 39(2), 214-227.
- Kessels, R., Goos, P. & Vandebroek, M. (2006). A Comparison of Criteria to Design Efficient Choice Experiments. *Journal of marketing research*, 43(3), 409-419.
- Krueger, R.A. & Casey, M.A. (2014). *Focus Groups: A Practical Guide for Applied Research*. Recuperado en: http://www.sagepub.com/sites/default/files/upm-binaries/24056_Chapter4.pdf
- Kuehl, R.O. (2000). *Statistical Principles of Research Design and Analysis*. 2nd Ed. Pacific Grove, CA: Duxbury Press.
- Lancsar, E. & Louviere, J.J. (2003). Deleting "irrational" responses from discrete choice experiments: a case of investigating or imposing preferences. *Health economics*, 15(8), 797-811.
- Lerman, S.R. & Louviere, J.J. (1978). On the use of functional measurement to identify the functional form of the utility expression in travel demand models. *Transportation Research Record*, 673, 78-86.
- Louviere J.J. & Hensher, D.A. (1983). Using discrete choice models with experimental design data to forecast consumer demand for a unique cultural event. *Journal of Consumer Research*, 10(3), 348-381.
- Louviere, J.J., Hensher, D.A. & Shocker, A. (1992). Conjoint Measurement: A Short Course. Course offered annually in Australia and the USA.
- Louviere, J.J., Hensher, D.A. & Swait, J.D. (2000). *Stated Choice Methods: Analysis and Application*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Louviere, J.J., Street, D., Burgess, L., Wasi, N., Islam, T. & Marley, A.A.J. (2008). Modeling the choices of individual decision-makers by combining efficient choice experiment designs with extra preference information. *Journal of Choice Modelling*, 1(1), 128-163.
- Louviere, J.J & Timmermans, H. (1990). Stated Preference and choice models applied to recreation research: a review. *Leisure Sciences*, 12(1), 9-32.
- Mackett, R.L. & Edwards, M. (1998). The impact of new public transport systems: Will the expectations be met? *Transportation Research Part A*, 32(4), 231-245.
- McFadden, D. (1975). Aggregate travel demand forecasting from disaggregate behavioural models. *Transportation Research Record*, 534, 24-37.

- McFadden, D. (1978). Modelling the choice of residential location. En A. Karlqvist, L. Lundqvist, F. Snickars & J. Weibull (eds.), *Spatial Interaction Theory and Planning Models* (pp. 75-96). Amsterdam: North Holland.
- McFadden, D. & Train, K. (2000). Mixed MNL models for discrete response. *Journal of Applied Econometrics*, 15(5), 447-470.
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, MEDE. (2010). El renacimiento del tranvía en Francia. Recuperado de: http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/11001-2_Renouveau-tramway-France_ES.pdf
- Munizaga, M.A. & Alvarez Daziano, R. (2000). Modelos Mixed Logit: uso y potencialidades. *X Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte*. Noviembre 2000. Gramado, Brasil.
- Novalés, M., Orro, A., Conles, E. & Anta, J. (2012). ¿Autobús de alto nivel de servicio o metro ligero? Reflexiones sobre los criterios de decisión. *X Congreso de Ingeniería del Transporte*. 20-22 de junio de 2012. Granada, España.
- O'Mahony, M. (2002). Quality Bus Corridors in Dublin. *Transportation Research Record*, 1791, 121-126.
- Orro, A. (2005). *Modelos de elección discreta en transportes con coeficientes aleatorios*. Tesis doctoral, Universidade da Coruña.
- Ortúzar, J. de D. (2000). *Modelos econométricos de elección discreta*. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Ortúzar, J. de D. (2001). On the development of the nested logit model. *Transportation Research Part B*, 35(2), 213-216.
- Ortúzar, J. de D. & Garrido, R.A. (2000). Rank, rate or choice?: an evaluation of SP methods in Santiago. En J. de D. Ortúzar (ed.), *Stated Preference Modeling Techniques*. Londres: Perspectives 4, PTRC.
- Ortúzar, J. de D. & Willumsen, L.G. (2008). *Modelos de transporte* (3ª ed.). Santander: Ed. Universidad de Cantabria.
- Ortúzar, J. de D. & Willumsen, L.G. (2011). *Modelling Transport* (4th ed.). Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Pérez, J.B, Brégains, J.C., Anta, J. & Orro, A. (2010). Estudio de movilidad en la Universidad de A Coruña. *IX Congreso de Ingeniería del Transporte*. 7-9 de junio de 2010. Madrid, España.
- Pickrell, D.H. (1992). A Desired Named Streetcar: Fantasy and Fact in Rail Transit Planning. *Journal of the American Planning Association*, 58(2), 158-176.
- Revelt, D. & Train, K. (1998). Mixed logit with repeated choices: Households' choices of appliance efficiency level. *Review of Economics and Statistics*, 80(4), 647-657.

- Richmond, J.E.D. (1998). The mythical conception of rail transit in Los Angeles. *Journal of Architectural Planning Research*, 15(4), 294-320.
- Rojó, M., Gonzalo-Orden, H., Dell'Ollio, L. & Ibeas, A. (2011). Modelling gender perception of quality in interurban bus services. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 164(1), 43-53.
- Román, C., Martín, J.C. & Espino, R. (2014). Using Stated Preferences to Analyze the Service Quality of Public Transport. *International Journal of Sustainable Transportation*, 8(1), 28-46.
- Rose, J.M. & Bliemer, M.C.J. (2009). Constructing Efficient Stated Choice Experimental Designs. *Transport Reviews*, 29(5), 587-617.
- Rose, J.M. & Bliemer, M.C.J. (2013). Sample size requirements for stated choice experiments. *Transportation*, 40(5), 1021-1041.
- Rose, J.M., Bliemer, M.C.J., Hensher, D.A. & Collins, A.T. (2008). Designing efficient stated choice experiments in the presence of reference alternatives. *Transportation Research Part B*, 42(4), 395-406.
- Sandor, Z. & Wedel, M. (2001). Designing Conjoint Choice Experiments Using Manager 'Prior Beliefs'. *Journal of marketing research*, 38(4), 430-444.
- Sandor, Z. & Wedel, M. (2002). Profile construction in experimental choice designs for mixed logit models. *Marketing Science*, 21(4), 445-475.
- Scherer, M. (2011). The image of bus and tram: first results. *11th Swiss Transport Research Conference*. 11-13 de mayo de 2011. Monte Verità, Ascona.
- Scherer, M. & Dziekan, K. (2012). Bus or Rail: An Approach to Explain the Psychological Rail Factor. *Journal of Public Transportation*, 15(1), 75-93.
- Spellucci, P. (1993). *DONLP2 Users Guide*. Department of Mathematics, Technical University at Darmstadt: Germany.
- Stradling, S., Carreno, M., Rye, T. & Noble, A. (2007). Passenger perceptions and ideal urban bus journey experience. *Transport Policy*, 14(4), 283-292.
- Tardiff, T.J. (1976). A note on goodness-of-fit statistics for probit and logit models. *Transportation*, 5(4), 377-388.
- Tay, R., Azad, A., Wirasinghe, S.C. & Hansen, S. (2013). Analysis of the influence of urban rail stations on neighborhood crime. *International Journal of Urban Sciences*, 17(2), 281-289.
- Train, K. (2009). *Discrete Choice Methods with Simulation* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Tse, L, Hung, W. & Sumalee, A. (2014). Bus lane safety implications: a case study in Hong Kong. *Transportmetrica A: Transport Science*, 10(2), 140-159.

- Vuchic, V. (2007). *Urban Public Transportation Systems and Technology*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Walker, J. (2001) *Extended Discrete Choice Models: Integrated Framework, Flexible Errors Structures, and Latent Variables*. PhD Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, MIT.
- Walker, J. (2002). Mixed logit (or logit kernel) model: dispelling misconceptions of identification. *Transportation Research Record*, 1805, 86-98.
- Walker, J., Ben-Akiva, M. & Bolduc, D. (2007). Identification of parameters in normal error component logit-mixture (NECLM) models. *Journal of Applied Econometrics*, 22(6), 1095-1125.
- Wall, G. & McDonald, M. (2007). Improving bus service quality and information in Winchester. *Transport Policy*, 14(2), 165-179.
- Williams, H.C.W.L. (1977). On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit. *Environment and Planning*, 9A, 285-344.

